

Uso de secuestrantes para disminuir la toxicidad de micotoxinas en alimentos para acuicultura

Mireya Tapia-Salazar, Oscar Daniel García-Pérez, Martha Nieto-López, Denis

Ricque-Marie, David Villarreal-Cavazos, Lucia Elizabeth Cruz-Suárez

Programa Maricultura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Cd. Universitaria Apdo. Postal F-67, San Nicolás de los Garza, Nuevo León 66450,

México. Tel+fax (+52 81) 83 52 63 80, e-mail: mireya.tapia@gmail.com

Resumen

La presencia de micotoxinas en alimentos para animales terrestres y acuáticos puede llegar a reducir significativamente el crecimiento, consumo de alimento, sobrevivencia e incrementar la tasa de conversión alimenticia así como causar afecciones en el sistema inmune, por lo que pueden ser responsables de pérdidas económicas considerables. Para prevenir la contaminación de los ingredientes con micotoxinas durante su cultivo, cosecha y almacenamiento se han utilizado un sin número de procedimientos como buenas prácticas agrícolas, selección de semillas resistentes al ataque de hongos y a la formación de micotoxinas, uso de compuestos químicos durante el almacenamiento, remoción de micotoxinas por procesos físicos, etc., no obstante, en algunas ocasiones no se logra impedir la generación de estas toxinas. La inclusión de remediadores como: secuestrantes, biotransformadores y compuestos protectores son otras alternativas que permiten reducir al máximo la presencia de estas sustancias en los alimentos terminados o disminuir los estragos cuando los animales consumen alimentos contaminados con micotoxinas. En este trabajo se presenta una revisión general del uso de estos productos en alimentos para animales terrestres y acuáticos, incluyendo estudios de su efectividad *in vivo* así como consideraciones importantes al momento de incluirse en alimentos terminados.

Palabras clave: micotoxinas, alimentos, secuestrantes, biotransformadores, camarón.

Importancia de las micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por diversas especies de hongos pertenecientes al género *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Alternaria*, son sintetizadas al final de la fase de crecimiento exponencial (Hussein & Brasel, 2001; Overy *et al.*, 2003; Kabak *et al.*, 2006) y se pueden encontrar en los ingredientes y/o alimentos terminados en formas conjugadas, formas solubles o incorporadas a macromoléculas (micotoxinas unidas) (Dersjant-Li, Verstegen & Gerrits, 2003; Berthiller *et al.*, 2009).

Según la FAO más del 25% de los alimentos producidos a nivel mundial están contaminados en un cierto grado con micotoxinas (Lawlor & Lynch, 2001); sin embargo, la incidencia de su contaminación y su concentración es variable, dependiendo de la época del año y área geográfica (Leung, Diaz-Llano & Smith, 2006). Según Pier, Richard & Cyzewski (1980) la micotoxicosis se puede presentar en tres formas: 1) la micotoxicosis aguda primaria (se desarrolla cuando se consumen cantidades moderadas a elevadas de micotoxinas, observándose síntomas específicos de toxicidad), 2) la micotoxicosis crónica primaria (se desarrolla por el consumo de cantidades bajas a moderadas de micotoxinas, observándose una reducción en la ganancia en peso y en la eficiencia de reproducción) y 3) las enfermedades secundarias por micotoxicosis (que resultan del consumo de pequeñas cantidades de micotoxinas que no causan una micotoxicosis pero predisponen a los organismos a enfermedades infecciosas a través de una reducción de la eficiencia del sistema inmune). De manera general, los organismos pequeños son más susceptibles a una intoxicación por micotoxinas que los organismos adultos; algunos efectos que causan estas sustancias tóxicas sobre animales de crianza son una disminución del crecimiento y de la ingesta de alimento, mortalidad, inmunosupresión, alteración en los procesos digestivos, etc. (Tabla 1); los rumiantes son menos sensibles a una intoxicación causada por micotoxinas debido a la capacidad que tienen los microorganismos presentes en el rumen para degradar estos compuestos (Diaz, 2005).

Tabla 1. Efecto del consumo de micotoxinas en diferentes especies de organismos terrestres y acuáticos

Micotoxina	Efectos	Especies afectadas
Aflatoxinas (B1, B2, G1, G2)	Reduce el crecimiento y consumo de alimento, incrementa la tasa de conversión alimenticia, causa hepatotoxicidad, genotoxicidad, incrementa la deposición de lípidos en hígado, causa inmunosupresión, causa mortalidades y enfermedades hemorrágicas	Aves ^{1, 2, 3, 4} Cerdos ^{5,6} Trucha ^{7,8} Carpa ^{9,10, 44} Tilapia ^{47,48} Bagre ^{49,50} Camarón <i>P. stylirostris</i> ^{11,43} Camarón <i>P. monodon</i> ^{12,13,14,43,46} Camarón <i>L. vannamei</i> ¹⁵
Tricotecenos (Deoxinavalenol, DON o vomitoxina, T-2, toxina HT-2, nivalenol, diacetoxiscirpenol o DAS)	Reduce el crecimiento, el consumo de alimento, la síntesis de proteínas y el índice de fertilidad, casusa gastroenteritis, vomito, inmunosupresión, hemotoxicidad, citotoxicidad, necrosis dermobucal y hemorragias. Para el caso de <i>P. monodon</i> DON incrementa el peso	Aves ^{16, 17, 18} Cerdos ^{19, 20, 21, 22} Bagre ^{23,24} Trucha arcoiris ^{25,51} Salmon del atlántico ⁴⁹ Camarón <i>L. vannamei</i> ²⁶ Camarón <i>P. monodon</i> ^{27, 40}
Fumonisinás (B1, B2)	Inhibición de la síntesis de esfingolípidos, Incrementa deposición de lípidos en hígado, Reducción del consumo de alimento, Reducción crecimiento, Alteraciones cardiovasculares	Aves ^{1, 26,27} Cerdos ^{28, 29} Bagre <i>I. punctatus</i> ^{30,31} Carpa ³² Camarón ³³
Zearalenona	Efecto estrogenico y anabólico, causa estrés oxidativo, engrandecimiento de las glándulas mamarias, inflamación de la vulva, disminuye la tasa de reproducción. Para el caso de <i>P. vannamei</i> y de salmón del atlántico no causa efectos negativos	Aves (resistentes) ³⁴ Cerdos ^{21,37} Rumiantes ^{38,39} Camarón <i>P. monodon</i> ⁴⁰ Camarón <i>P. vannamei</i> ⁴⁵ Salmon del atlántico ⁴⁹
Ocratoxina (A, B, C)	Es cancerígeno, teratogenico y genotoxico, causa inmunosupresión pérdida ligera de peso y nefritis Para el caso de <i>P. monodon</i> y del salmón del atlántico no causa efectos negativos	Aves ³⁵ Cerdos ³⁶ Bagre ²⁴ Camarón ²⁷ Robalo <i>D. labrax</i> L ⁴² Salmon del atlántico ⁴⁹

Fuentes: Pettersson, 2004; Boudergue *et al.*, 2009; ¹Tessari *et al.*, 2006; ²Denli *et al.*, 2005; ³Denli & Okan, 2006; ⁴Gowda *et al.*, 2008; ⁵Shi *et al.*, 2007; ⁶Harvey *et al.*, 1991; ⁷Sinnhuber *et al.*, 1974; ⁸Ottinger & Kaattari, 2000; ⁹Sahoo & Mukherjee, 2001a,b,2002,2003; ¹⁰Madhussudhanan *et al.*, 2006; ¹¹Wiseman *et al.*, 1982; ¹²Boonyaratpalin *et al.*, 2001; ¹³Bautista *et al.*, 1995; ¹⁴Gopinath & Raj, 2009; ¹⁵Ostrowski-Meissner *et al.*, 1995; ¹⁶Awad *et al.*, 2006; ¹⁷Weber *et al.*, 2010; ¹⁸Garaleviciene, Pettersson & Elwinger, 2002; ¹⁹Smith, McMillan & Castillo, 1997; ²⁰House *et al.*, 2002; ²¹Tiemann & Daumnicke, 2007; ²²Weaver *et al.*, 1981; ²³Manning *et al.*, 2003; ²⁴Manning *et al.*, 2005; ²⁵Woodward, Young, Lunk, 1983; ²⁶Trigo-Stockli *et al.*, 2000; ²⁷Supamattaya *et al.*, 2005; ²⁸Henry, Wyatt & Fletcher, 2000; ²⁹Broomhead *et al.*, 2002; ³⁰Smith *et al.*, 2000; ³¹Swamy *et al.*, 2003; ³²Yildirim *et al.*, 2000; ³³Carlson *et al.*, 2001; ³⁴Petrinec *et al.*, 2004; ³⁵Mexia-Salazar *et al.*, 2008; ³⁶Borutova *et al.*, 2008; ³⁷Gupta *et al.*, 2008; ³⁸Malagutti *et al.*, 2005; ³⁹Gutzwiller *et al.*, 2007; ⁴⁰Dong *et al.*, 2010; ⁴¹Takagi *et al.*, 2008; ⁴²Bundit *et al.*, 2006; ⁴³El-Barbary, 2008; ⁴⁴El-Sayed, Khalil & Saad, 2009; ⁴⁵Lightner & Redman, 1985; ⁴⁶Mohapatra *et al.*, 2010; ⁴⁷Nieto-Lopez *et al.*, 2007; ⁴⁸Soongam & Hutacharoen, 2007; ⁴⁹Lim *et al.*, 2001; ⁵⁰Shehata, El-Melegy & Ebrahim, 2009; ⁵¹Lopes *et al.*, 2004; ⁵²Döll *et al.*, 2010; ⁵³Cam, Encarnaçao & Hung, 2010; ⁵⁴Hooft & Bureau, 2010.

El grado de toxicidad de estos compuestos no solo depende de su concentración toxica sino también del tiempo de exposición a estas (Fink-Gremmels, 1999). Para evitar riesgos para la salud humana es necesario el monitoreo periódico y prevención de su presencia, no solo

en alimentos dirigidos para consumo humano sino en ingredientes y alimentos terminados para animales (Nyugen *et al.*, 2008).

Uso de agentes detoxificantes para micotoxinas

Para evitar los efectos negativos causados por el consumo de micotoxinas se han desarrollado estrategias para prevenir el crecimiento de hongos e inhibir la biosíntesis de micotoxinas antes de la cosecha (variedades resistentes, manejo en el campo y el uso de agentes biológicos y químicos), durante la cosecha y en la post-cosecha (mejoras en el proceso de secado y almacenado, el uso de agentes naturales y químicos, la aplicación de irradiación, etc.) (Kabak *et al.*, 2006, 2009). Así mismo, se han desarrollado otras estrategias alimentarias, con la finalidad de reducir la adsorción de micotoxinas en el tracto digestivo mediante el uso de “*agentes detoxificantes*”.

Según la comisión de regulación de la Comunidad Europea (EC, 386/2009) los agentes detoxificantes para micotoxinas en los alimentos se definen como “*sustancias que pueden suprimir o reducir la adsorción, promover su excreción o modificar su modo de acción*”. Esto depende de la forma en que estos aditivos pueden actuar ya sea reduciendo la biodisponibilidad de las micotoxinas o degradarlas o transformarlas en metabolitos menos tóxicos; de manera general se clasifican como agentes adsorbentes y agentes biotransformadores.

Los agentes adsorbentes son aquellos compuestos que tienen la finalidad de quelar las micotoxinas, lo cual permite reducir la disponibilidad de micotoxinas. **Los agentes biotransformadores** degradan las micotoxinas en metabolitos menos tóxicos. Existen otros compuestos, los cuales tienen la finalidad de proteger contra el daño a nivel celular ocasionado por el consumo de micotoxinas, estos compuestos son clasificados como “*protectores*”.

I.- Agentes adsorbentes

Los agentes adsorbentes (sustancias del alto peso molecular) se unen con las micotoxinas que se encuentran en el alimento evitando su disociación, en el tracto digestivo del animal y de esta manera el complejo toxina-adsorbente pasa a través del animal y es eliminado en las heces (Gimeno & Martins, 2007). La manera en que las micotoxinas se pueden adherir a estos compuestos es por medio de una adsorción física (interacciones débiles de van der Waals y enlaces de hidrógeno, este proceso es fácilmente reversible) y adsorción química o quimiosorción (interacciones fuertes mediante enlace iónico o covalente, es un proceso irreversible ocasionado por un cambio químico en la sustancia original).

De manera general, 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).

A.- Adsorbentes minerales

1) **Las arcillas:** Son aquellas sustancias terrosas formadas principalmente por silicatos aluminicos con materia coloidal y trozos de fragmentos de rocas, que se han formado mediante la desintegración química de las rocas aluminicas.

Los silicatos, es el grupo más abundante de los minerales formadores de rocas donde el anión está formado por grupos de silicatos del tipo $(\text{SiO}_4)^{4-}$. 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 sílicio con cuatro átomos de oxígeno (Fig. 1).

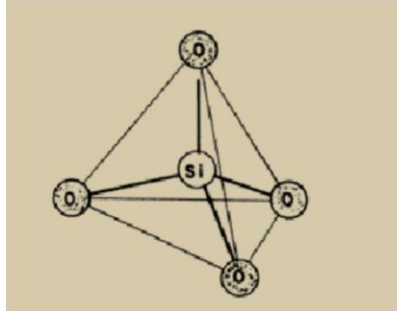


Fig. 1. Estructura básica de los silicatos (Mitchell, 1993)

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 (armazones, Fig. 2), 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.

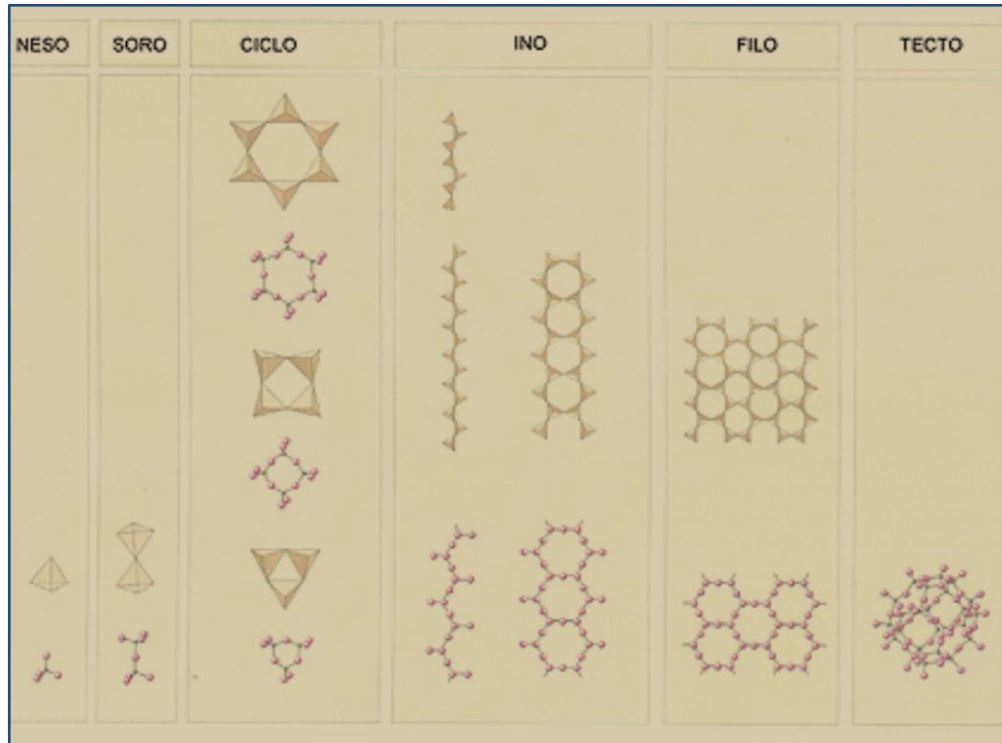


Fig. 2. Estructuras de los diferentes silicatos (Mitchell, 1993)

Bajo ciertas circunstancias el átomo de silicio (Si) del tetraedro puede ser reemplazado por metales de menor carga, como el aluminio, generando así una deficiencia de carga positiva, o un exceso de carga negativa en el tetraedro, permitiendo atraer a otros cationes para compensarse y mediante este mecanismo los silicatos pueden tener propiedades superficiales únicas de acidez e intercambio iónico, tan importantes que a ellas se deben las propiedades catalíticas de las arcillas.

Las arcillas pueden compartir sus átomos de oxígeno entre una lámina tetraédrica (está compuesta por Si-O) y una octaédrica [está compuesta por Al-O y Al-(OH)], dando origen a arcillas de dos capas; también los átomos de oxígeno de una lámina octaédrica pueden compartir sus átomos de oxígeno con láminas tetraédricas por ambos lados, dando origen a arcillas de tres capas. El silicio puede ser sustituido por el aluminio, mientras que el aluminio puede ser sustituido por cationes divalentes (Mg, Fe²⁺), permitiendo clasificar las arcillas en dos tipos: 1:1 (que consiste en una capa tetraédrica unida a una octaédrica y 2:1

(que consiste en una capa octaédrica cubierta por dos capas tetraédricas). Estas condiciones permiten determinar las características generales de las arcillas tales como carga, polaridad, expansibilidad, origen, formación, estructura, capacidad de intercambio catiónico (C.I.C. miliequivalentes/100g), pH, tamaño de partícula, superficie específica, reología, hinchabilidad, capacidad de adsorción, etc., (Tabla 2).

Tabla 2.- Propiedades de las arcillas

Grupo de arcillas	Ejemplo de arcilla	Formación Mg ²⁺ / Al ³⁺	Polaridad (formación Si ⁴⁺ / Al ³⁺)	Cationes interlaminares	Tipo de capas	CIC (meq/100g)	Porosidad	Hinchabilidad
Grupo Caolín	Caolinita, Nacrita, Anauxita,	Trioctaedral	1:1 Si - Al (Isoeléctricas)	Alta en magnesio Bajo en potasio		0-20	-	-
Grupo Zeolitas	Clinoptilolitas Aragonitas,	Tectosilicatos / Dioctaedral	1:2 Si - Al - Al (Polar, Expandible)	Alto en calcio y/o sodio	Móvil Expandible Adsorción de agua y nutrientes	200-1000	++++	-
Grupo Montmorillonitas	Esméctica, Bentonitas, Beidelita,	Dioctaedral	2:1 Si - Al - Si (Polar, Expandible)	Alto en calcio y/o sodio	Móvil Expandible Adsorción de agua y nutrientes	60 > 100	+	Ca 2+ + Na +++++
Grupo Micas – Hidratadas	Sepiolitas, Vermiculitas, Atapulguita	Dioctaedral y/o Trioctaedral	2:1 Si - Al - Si (Polar y/o Dipolares) (Expandible)	Alto en potasio Bajo en magnesio	Expandible Adsorción de agua y nutrientes	15-20	+++	-
Grupo Micas– No Hidratadas	Illitas, Cloritas	Trioctaedral	2:1:1 Si - Al - Si - Al (Dipolares, No expandible)	Alto en magnesio Bajo en potasio	Fijas No expandible No adsorción de agua ni nutrientes	20-60	-	-

CIC capacidad de intercambio catiónico

Fuente: Casting, 1998.

Los aluminosilicatos de calcio y sodio (HSCAS), pueden encontrarse de forma natural o mediante el tratamiento térmico de arcillas de calcio (Wang *et al.*, 2008). Estos compuestos contienen moléculas de agua adheridas a un metal central o cristalizado con un metal complejo permitiendo un mayor secuestro de micotoxinas.

Los órganoaluminosilicatos es una forma orgánica modificada de los filosilicatos. Estos compuestos se generan mediante el intercambio de los cationes del aluminosilicato por órganocaciones (normalmente iones cuaternarios alquilamonio). La estructura láminar sigue siendo análoga a la de los filosilicatos originales, pero con esta modificación permite secuestrar micotoxinas de baja polaridad como la zearalenona, ocratoxina A y T-2.

Los aluminosilicatos que han sido utilizados en alimentos para animales terrestres como secuestrantes para micotoxinas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Nombres de productos comerciales a base de arcillas utilizadas como secuestrantes de micotoxinas en alimentos para organismos terrestres

Producto	Micotoxina que secuestra
Agrabond (aluminosilicato de calcio y sodio)	AF, ZEA, FUM
Alquerfeed antitox (aluminosilicato de sodio y calcio hidratado)	AF, DON, T-2, OTA, ZEA, Oosporina
Astra Ben 20® (bentonita de sodio)	AFB1, AFM1
Atox® (Combinación de esmectita y sepiolita)	AFB1
Bentonita	AFB1
Bentonita de sodio	AFB1, FB1
Calibrin-A (Montmorillonita altamente refinada)	AF
Calibrin-Z (Montmorillonita altamente refinada)	ZEA
Championite® (bentonita de sodio)	AF
Clinoptilolita	AF
Clinoptilolita-huelanditavolcanica	OTA, NIV, DAS, T-2, ZEA AFB1
Duotek® (organoaluminosilicato)	ZEA, OTA, FUMB1, T-2, AF
Fixat® (aluminosilicato)	AFB1
Flo-bond (aluminosilicato hidratado de calcio y sodio)	AFB1, T-2, DON, OTA, FB1, ZEA
Flow Guard® (bentonita de sodio)	AFB1, AFM1
Klinsil® (aluminosilicato)	OTA
Mexsil® (aluminosilicato hidratado de calcio y sodio)	AFB1
Milbond-TX® (HSCAS)	AFB1
Montmorillonita	AF
Montmorillonita de calcio y sodio	AFB1, ZEA
Montmorillonita nanocompuesta modificada	AF
Montmorillonita organoflica modificada	DON, ZEA
Myc-Ad® (combinación de dos HSCAS y mezcla de ilita y cloritas)	AF, T-2, OTA
Myc-Ad® A-Z (combinación de dos HSCAS y mezcla de ilita y cloritas donde ha removido las fracciones no arcillosas)	AF, T-2, OTA, ZEA
Mycosil® (HSCAS)	AFB1
Mycobond R (mezcla de minerales)	AF
Neosil® (aluminosilicato hidratado de calcio y sodio y minerales de sodio de calcio, magnesio, fierro)	AF
NovaSil™ (HSCAS, Ca-montmorillonita)	AFB1, AFM1
Promisil IP-A (aluminosilicato de sodio y calcio)	OTA
Quitaflax ZEO® (aluminosilicato hidratado de calcio y sodio)	ZEA, FUMB1, OTA, VOM, AFB1, T-2
Red Crown® (bentonita de calcio)	AFB1, AFM1
Sintox® (aluminosilicato de calcio y sodio)	AF, T-2, DON, ZEA, OTA
Sorb-IT® (Bentonita + montmorillonita)	AF, T-2, ZEA, OTA, FUM
Swy-2: Wyoming bentonita de sodio	AF
Topsil (aluminosilicato de sodio y calcio)	ZEA, OTA, AF, FUM
Toxinor® (combinación de montmorillonita, sepolita y diatomita)	AF, ZEA, OTA, FUM, DON, T-2
Toxisorb® classic (aluminosilicato parcialmente modificado)	AFB1, ZEA, T-2, FUM, ergot
Toxisorb® premium (aluminosilicato parcialmente modificado)	AFB1, DON, ZEA, T-2, FUMB1, ergot
Trisox	AF, DON, T-2, ZEA, OTA, FUM
Trisox II	AF, OTA, ZEA

Volclay FD-181 (bentonita de sodio)	AFB1
Zeolex extra® (aluminosilicato de calcio y sodio hidratado y activado químicamente)	AF, OTA, T-2, FUMB1, ZEA
Zeolex® (HSCAS, aluminosilicato de calcio y sodio)	AFB1, ZEA, OTA, VOM, FUM, T-2, CIT
Zeotek® (organoaluminosilicato)	AF, ZEA, OTA, VOM, FUM, T-2, CIT

AF aflatoxinas, AFB1 aflatoxina B1, AFM1 aflatoxina M1, ZEA zearalenona, FUM fumonisina, DON deoxinivalenol, T-2 toxina T-2, OTA ocratoxina, NIV nivalenol, DAS diacetoxiscirpenol, VOM vomitoxina, CIT citrina

2) Carbón activado: El carbón activado es un polvo no soluble formado por pirolisis de varios compuestos orgánicos y elaborados por procesos de activación que permite el desarrollo de estructuras altamente porosas. La capacidad secuestrante del carbón activado depende del tamaño del poro, área de superficie, estructura de la micotoxina y la dosis. Existe el carbón superactivado, el cual a diferencia del carbón activado presenta una superficie de área mucho mayor (500 m²/g vs 3500 m²/g, Ramos *et al.*, 1996). Algunos de los productos que se encuentran disponibles comercialmente para micotoxinas se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 4.- Productos disponibles comercialmente a base de carbón activado empleados como secuestrantes de micotoxinas en alimentos para animales terrestres

Producto	Micotoxina que secuestra
Aquacarb™ 207EA	AF
Carbón activado	ZEA, FB1, FB2, OTA, DON, AFB1, AFM1
Carbón superactivado	AF, T-2
Darco KB-B	AFB1, OTA
Filtrisorb 400	AF
GCN 1240	AF
Norit GCN	AFM1
Nuchar® SA-20	AFB1, AFM1
Sorbopor MV 125	AFB1

AF aflatoxinas, AFB1 aflatoxina B1, AFM1 aflatoxina M1, AFB2 aflatoxina B2, ZEA zearalenona, FUM fumonisina, DON deoxinivalenol T-2 toxina T-2, OTA ocratoxina, NIV nivaleno, DAS diacetoxiscirpenol, VOM vomitoxina

3) Tierra de diatomeas: La tierra de diatomeas es un mineral de origen vegetal formado por la fosilización y acumulación de los esqueletos 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. Los productos comerciales a base de tierra

de diatomeas son pocos, por ejemplo tenemos al Afladetox® (Denli *et al.*, 2009) el cual secuestra aflatoxinas y al Ocratox® (Denli *et al.*, 2009), que es tierra de diatomeas activada y secuestra ocratoxina.

B.- Adsorventes organicos

1) Paredes celulares de levaduras: La presencia de polisacáridos (glucosa, manosa y n-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 *et al.*, 2001; Jouany, Yiannikouris & Bertin, 2005). Los productos más utilizados se obtienen principalmente de la levadura de cerveza *S. cerevisiae*, aunque su eficacia depende de la proporción de glucanos/mananos presentes en la cepa de levadura (Yiannikouris *et al.*, 2004).

La Tabla 5 muestra algunos productos utilizados como secuestrantes de micotoxinas en alimentos para animales terrestres.

Tabla 5. Productos disponibles comercialmente a base de paredes de levaduras empleados como secuestrantes de micotoxinas en alimentos para animales

Producto	Características	Micotoxina que secuestra
Beta	fracción purificada seca de beta-glucano de paredes celulares	OTA
Detoxaplus	Complejo multienzimático proveniente de <i>S. telluris</i> que contiene además paredes de levaduras compuestas por manooligosacáridos y β Glucanos	AF, T-2, DON, ZEA, OTA
Ecocell®	Mananoligosacáridos y β glucanos extraídos de <i>S. cerevisiae</i>	
EX16	vinasa conteniendo 16% de líquido de paredes celulares de levaduras	OTA
inteWall	B-glucanos, mananos	No indicado, actúa también como inmunoestimulante
LEC	fracción de paredes celulares de levaduras	OTA
MTB-100®	glucomanano polimérico extraído de paredes celulares de levaduras	OTA, FB1, Moniliformina, ZEA, AFB1, AFM1, T-2, DAS, ácido fusarico
Mycofix plus	Levadura de <i>T. mycotoxinivorans</i>	AFB1, ZEA, DON, NIV, DAS, T-2, OTA
Mycosorb™	glucomannano polimérico de levadura de cerveza <i>S. cerevisiae</i>	AFB1, ZEA, DON, NIV, T-2

AF aflatoxinas, AFB1 aflatoxina B1, AFM1 aflatoxina M1, ZEA zearalenona, FUM fumonisina, DON deoxinivalenol, T-2 toxina T-2, OTA ocratoxina, NIV nivalenol, DAS diacetoxiscirpenol, VOM vomitoxina

2) Fibras micronizadas: Estas son obtenidas a partir de diferentes materiales vegetales, tales como cereales (trigo, cebada, avena, etc), cascarilla de chícharo, manzana, bambú, etc. Estas fibras están constituidas principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina (Kabak, Dobson & Var, 2006). La fibra de alfalfa ha demostrado reducir los efectos de la zearalenona en ratas (James & Smith, 1982; Stangroom & Smith, 1984) y la toxina T-2 en ratas y cerdos (Carson & Smith, 1983). Adfimax® (que son fibras de trigo, avena, cebada, manzana, uva, chícharo, lupino y pera) también se ha reportado que secuestra OTA (Aoudia *et al.*, 2009).

3) Bacterias: Las bacterias utilizadas principalmente como secuestrantes de micotoxinas son *Lactobacillus* y *Streptococcus* y el mecanismo empleado para secuestrar micotoxinas es mediante enlaces hidrofóbicos donde las micotoxinas se unen a la superficie bacteriana. Las especies de bacterias que se han reportado con actividad secuestrante para micotoxinas son presentadas en la siguiente Tabla.

Tabla 6. Bacterias empleadas como secuestrantes de micotoxinas en alimentos para animales terrestres

Producto	Micotoxina que secuestra
<i>Lactobacillus rhamnosus strain GG</i>	DON, AFB1, AFB2, ZEA
<i>Lactobacillus helveticus 46y 72</i>	
<i>Lactobacillus jugurti 63</i>	
<i>Lactobacillus lactis 170</i>	
<i>Lactobacillus casei spp. Casei C3</i>	
<i>Streptococcus thermophilus NG40Z y C5</i>	
<i>Lactobacillus paraplantarum</i>	
<i>Lactobacillus rhamnosus strain GG</i>	AFB1, ZEA,
<i>Lactobacillus rhamnosus strain LC-705</i>	
<i>B. longum</i>	AFB1
<i>L. acidophilus</i>	
<i>S. typhimurium</i>	

AF aflatoxinas, AFB1 aflatoxina B1, ZEA zearalenona, FUM fumonisina

4) Polímeros: Dentro de estos compuestos tenemos a la colestiramina y la polivinilpirrolidona. La colestiramina es una resina insoluble de intercambio anionico de amino cuaternario; el cual puede atrapar fuertemente compuestos anionicos. La polivinilpirrolidona es un polímero anfoterico altamente polar. El método de adsorción de los polímeros de pirrolidona es mediante la formación de puentes de hidrógeno y nitrógeno. En la siguiente tabla se presentan algunos productos disponibles comercialmente evaluados en animales terrestres.

Tabla 7.- Polímeros empleados como secuestrantes de micotoxinas en alimentos para animales terrestres.

Producto	Micotoxina que secuestra
Colestiramina	ZEA FB1, AFB2, OTA
Antitox Vana (Polivinilpirrodilona)	DON
Polivinilpolipyrrodilona	AF, ZEA

AF aflatoxinas, AFB1 aflatoxina B1, ZEA zearalenona, DON deoxinivalenol, OTA ocratoxina,

2. Agentes biotransformadores de micotoxinas

Los agentes biotransformadores incluyen bacterias, levaduras, hongos y enzimas. Estos biotransformadores pueden estar constituidos de estos microorganismos o de la extracción de algunas enzimas de ellos y que posteriormente son incluidas en el alimento. Para el caso de las bacterias se pueden emplear bacterias anaeróbicas gram-positivas, bacterias aeróbicas gram-positivas y bacterias aeróbicas gram-negativas. Los microorganismos que se han utilizados como biotransformadores son presentados en la siguiente Tabla.

Tabla 8. Microorganismo y enzimas utilizadas como biotransformadoras de micotoxinas en alimentos para animales terrestres

	Producto	Micotoxina que atrapa
Bacteria	Bacteria anaeróbica <i>Eubacterium</i> s.p. BBSH 797	T-2, HT-2, escirpentriol
	<i>Nocardia asteroides</i> <i>Mycobacterium fluoranthenorivans</i> sp. nov. <i>Rhodococcus erythropolis</i>	AFB1
	Mezclas de cultivo de <i>Alcaligenes</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Flavobacterium</i> , y <i>Pseudomonas</i>	ZEA
	<i>Cepa Curtobacterium</i> sp. 114-2	T-2
	Lactocacillus	ZEA
Hongos	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Eurotium herbariorum</i> , <i>Rhizopus</i> sp., <i>A. flavus</i> no productora de aflatoxinas <i>A. parasiticus</i> NRRL 2999 y NRRL 3000	AFB1, Aflatoxicol
	<i>Trichosporon mycotoxinivorans</i>	AFB1
	<i>Phaffia rhodozyma</i>	OTA, ZEA, DON
Levaduras	Aislados de cepas <i>Xanthophyllomyces dendrorhous</i>	OTA
Bacterias y Levaduras	Combinación de <i>Eubacterium</i> BBSH 797 y <i>Trichosporon mycotoxinivorans</i>	OTA, ZEA
Enzimas	Proteasa A de <i>A. niger</i>	OTA
	Pancreatina de Cerdo	OTA
	Epoxidasa de <i>Eubacterium</i> BBSH 797	ZEA, OTA, DON
	Proteína Aflatoxina-detoxifizima (ADTZ), el gen de ADTZ es clonado del RNA total de <i>Armillariella tabescens</i> y expresada a través de métodos de ingeniería genética.	AFB1
	Lactonohidrolasa de <i>Clonostachys rosea</i> IFO 7063	ZEA

AF aflatoxinas, AFB1 aflatoxina B1, AFM1 aflatoxina M1, ZEA zearalenona, FUM fumonisina, DON deoxinivalenol, T-2 toxina T-2, OTA ocratoxina, NIV nivalenol, DAS diacetoxiscirpenol, VOM vomitoxina

3. Mezclas de compuestos

Existen productos que manejan una combinación de secuestrantes, biotransformadores y otros compuestos que pretenden asegurar una máxima protección. En la siguiente Tabla se presentan algunos productos disponibles comercialmente y que se recomiendan su utilización en alimentos para animales terrestres.

Tabla 9. Productos comerciales disponibles como secuestrantes en alimentos para animales terrestres compuestos por mezclas de arcillas, bacterias, levaduras o extractos vegetales

Producto	Composición	Micotoxina que secuestra y/o transforma
AbTox	Combinación de bio-polímeros naturales y filosilicatos	AF, OTA, ZEA, T-2
Amadeite Bg-Max®	Combinación arcilla activada, extractos de alga cultivo de levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , paredes celulares de levadura de cerveza, aluminosilicatos de sodio-calcio hidratado	DON, FUM AF, T2, OTA, DON, FUM, ZEA
EMBI-100	Montmorillonita, carbón vegetal, manano, oligosacaridos de fructuosa	AF
Flo-bond plus	Aluminosilicato hidratado de calcio y sodio, acido propionico	
Mycofix® Plus	Enzimas, adsorbentes, extractos de plantas y algas	FB1, ZEA, DON, NIV, DAS, T-2, OTA
Mycosorb®	Combinación de extractos de <i>S. cerevisiae</i> , aluminosilicato de sodio y calcio.	T-2
Mycotex Mycotox® Sintox Plus	combinación de extracto de levaduras y enzimas Oxicolol, timol y levadura micronizada Dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de sodio, óxido de potasio, mananoligosacáridos (MOS) y β-glucanos	ZEA, FUM y DON AF AF, T-2, DON, ZEA, OTA
Sintox-plus	Mezcla de arcillas, manano-oligosacaridos y beta glucanos de <i>S. cerevisiae</i>	AF, T-2, DON; ZEA, OTA
T-Loc-Plus	Combinación de un aluminosilicato de sodio y calcio hidratado, ácidos orgánicos y probióticos (<i>L. sporogenes</i> , <i>S. cerevisiae</i> , <i>B. coagulans</i> , <i>S. faecium</i>)	Amplio espectro
Toxibond® Pro	Mezcla de aluminosilicatos de sodio y calcio hidratados, oligosacaridos, 1-3 y 1-6 β-glucanos, fructo oligosacaridos, enzimas, probioticos y prebióticos (silimarina)	AF, OTA, ZEA, citrina además de mejorar el sistema inmune y la flora bacteriana en el intestino
Ultasorb	combinación arcilla + paredes celulares de levaduras, extractos de levaduras	DON
UT-aflatrol	Montmorillonita, carbón vegetal, mananos y oligosacaridos de fructuosa	AF
Varishta Toxin	Ácidos orgánicos, aluminosilicatos hidratados de calcio y sodio y la planta <i>Picrorrhiza kurroa</i>	AF, T-2
Veta-bind	Mezcla de paredes celulares de levaduras, extractos de hierbas y ácidos orgánicos	No indicado

AF aflatoxinas, AFB1 aflatoxina B1, AFM1 aflatoxina M1, ZEA zearalenona, FUM fumonisina, DON deoxinivalenol, T-2 toxina T-2, OTA ocratoxina, NIV nivalenol, DAS diacetoxiscirpenol, VOM vomitoxina

Productos que actúan como protectores contra una intoxicación por el consumo de micotoxinas

Otra de las estrategias utilizadas para evitar una intoxicación por micotoxinas es mediante la prevención de una toxicidad inducida una vez que la toxina fue ingerida. Algunos compuestos que han sido reportados como excelentes reductores del estrés oxidativo, reducción en la aducción del DNA en el hígado, estimulación del sistema inmune etc. Algunos compuestos con los que se ha visto efectos positivos son el selenio (Weber *et al.*, 2006) vitaminas A, C y E (Weber *et al.*, 2006), ácido linoleico conjugado (Denli *et al.*, 2005), compuestos fenólicos (Offord *et al.*, 1997; Renzulli *et al.*, 2004), ácidos grasos poli-insaturados n-3 (Raju *et al.*, 2005; Shi, 2008), curcumina (Gowda *et al.*, 2008), BHT (Guarisco, Hall & Coulombe, 2008), extractos de plantas (Naaz, Javed & Abdin, 2007; Marnewick *et al.*, 2009), nucleótidos (Frankic *et al.*, 2006), ácido rosmarínico (Renzulli *et al.*, 2004), flavonoides (Markham *et al.*, 1987), N-acetilcisteína (Valdivia *et al.*, 2001), etc.

Eficacia de los agentes detoxificantes para micotoxinas en nutrición animal

La efectividad del secuestrante y/o biotransformador etc., depende de un sin número de factores tales como: 1) capacidad secuestrante y/o biotransformador para secuestrar o transformar la micotoxina (Kabak, Dobson & Var, 2006), 2) grado de contaminación del alimento, selectividad del secuestrante y/o biotransformador, los aluminosilicatos por ejemplo son en su mayoría selectivos para aflatoxinas (Kabak, Dobson & Var, 2006), 3) impacto sobre la ingesta de alimento, por ejemplo Swamy *et al.* (2002) reporta que la presencia de DON tiene un efecto importante sobre la ingesta de alimento y que la inclusión del secuestrante no pudo revertir este efecto negativo. Por otro lado, los resultados de las evaluaciones en estudios *in vitro* pueden diferir mucho de aquellos estudios evaluados *in vivo* debido a la interacción que se desarrolla entre el secuestrante y/o biotransformador en la matriz del alimento, condiciones de pH, tamaño del alimento, movimientos peristálticos del intestino, tránsito intestinal, etc., (Avantaggiato, Solfrizzo & Visconti, 2005). Si bien, estos productos pueden llegar a mitigar los efectos negativos

ocasionados por la presencia de micotoxinas (Tablas 10 y 11), son pocos los estudios donde se ha reportado rendimientos similares que las dietas sin contaminar. Shi *et al.* (2007) y Nguyen, Ogle & Pettersson (2008) reportan que la inclusión de montomorillonita nanocompuesta (3 g/kg) y de bentonita (4 y 5 g/kg) en dietas para cerdos contaminadas con 110 y 200 µg/kg de aflatoxinas contrarrestaron los efectos negativos ocasionados por esta micotoxina y con crecimientos equivalentes a la dieta control. En el caso aves, los productos que han mostrado resultados similares a dietas sin contaminar han sido la inclusión de montmorillonita de calcio (Pimpukdee *et al.*, 2004), zeolita de sodio sintética (Miazzo *et al.*, 2000), curcuminas y aluminosilicatos (Gowda *et al.*, 2008), glucomananos de levadura (Kamalzadeh, Hosseini & Moradi, 2009), cardo mariano *Silybum marianum* (Tedesco *et al.*, 2004), aceite de soya y de girasol (Raju *et al.*, 2005) y N-acetilcisteína (Valdivia *et al.*, 2001).

Tabla 10. Estudios *in vivo* de varias arcillas, glucomananos y extractos de hierbas utilizadas en alimentos para cerdos contaminados con micotoxinas

Agente absorbente	Nombre comercial del producto	Micotoxina	Nivel de inclusión del secuestrante	Mejora en la ganancia en peso con respecto a la dieta contaminada
Montomorillonita ¹	Montomorillonita (M) Montomorillonita nanocompuesta (MN)	AF 0.11 mg/kg	3 g /kg de alimento	M + 5.5 % MN + 12.9 %*
Bentonita ²	bentonita	AF 200 µg/kg	4 y 5g / kg de alimento	4 g/kg +3%* 5g/kg +12%*
Bentonita de sodio ³	Volclay-90	AF 922 ppb	1%	+12%
Aluminosilicato ⁴	Montmorillonita modificada (Süd Chemie)	Toxinas de <i>Fusarium</i>	4 g/kg	-12.2% Reducción en el consumo de alimento por la adición del secuestrante
Glucomananos ⁵	Mycosorb TM	mezcla de DON (5.5 mg/kg), 15-acetil-DON 0.5 mg/kg, ZEA 0.3 mg/kg)	0.20%	33.30%
Glucomananos ⁶	Mycosorb TM	DON 4.44 mg/kg	0.20%	+0.3% ineficiente
Glucomananos ⁷	Mycosorb TM	Fumonisinás	0.05% 0.10% 0.20%	-13.20% -22.70% -17.30%

*Tratamientos que dieron ganancias en peso equivalentes que la dieta control sin contaminar; ¹Shi *et al.*, 2007; ²Nguyen, Ogle & Pettersson, 2008; ³Schell *et al.*, 1993; ⁴Döll *et al.*, 2005; ⁵Díaz-Llano & Smith, 2006; ⁶Dänicke, Goyarts & Valenta, 2007; ⁷Swamy *et al.*, 2002. AF aflatoxinas, ZEA zearalenona, DON deoxinivalenol

Tabla 11. Estudios *in vivo* de varias arcillas, glucomamanos y extractos de hierbas utilizadas en alimentos para pollos contaminados con micotoxinas

Agente absorbente	Nombre comercial del producto	Micotoxina	Nivel de inclusión del secuestrante	Mejora en la ganancia en peso con respecto a la dieta contaminada
Clinoptilolita ¹	CLI/NUT-1000	AF 2.5 mg/kg	15 y 25 g/kg	15 g/kg +15 25 g/kg de +8
Bentonita de sodio ²	Vulgel CN30	AF 3 mg/kg	0.25 y 0.50%	0.25% +9.3% 0.50 +11.7%
Aluminosilicato hidratado de calcio y sodio ³	-	OTA 2 ppm/kg	0.25%	-22%
Montmorillonita de calcio ⁴	Novasil plus	AF 5 mg/kg	0.125, 0.250 [¥] , 0.50 [¥] (%)	+13.2% a 22.2%
Aluminosilicato hidratado de calcio y sodio ⁵	T-Bind™	AF 5 mg/kg T-2 8 mg/kg	0.25 y 0.375%	AF + 15.4 y 15.6% T-2 +2.1 y 2.4%
Zeolita de sodio sintética ⁶	-	AFB1 2.5 mg/kg	1%	10% [¥]
Clinoptilolita (C) ⁷	-	Fum B1 75 y 100 ppm	C 2.5% MO 2.0%	C +3.2 y 11.3% MO -4.4 y +5.4%
Manano oligosacáridos (MO) ⁷	-	AF 40 µg/kg AF 80 µg/kg	2.5 g/kg	HSCAS +7.0 y 7.6% D +4.1 y 5.9% CA 2.3 y 5.6%
Aluminosilicato de calcio y sodio (HSCAS), Diatomita (D), Carbón activado (CA) ⁸	-	AF 1.0 mg/kg	Curcuminoides totales 74mg/kg HSCAS 0.5%	Curcumina 5.6% HSCAS 20% Curcumina+HCAS 22% [¥]
Curcumina ⁹	<i>C. longa</i>	AF 1.0 mg/kg	Curcuminoides totales 74mg/kg HSCAS 0.5%	Curcumina 5.6% HSCAS 20% Curcumina+HCAS 22% [¥]
Aluminosilicato HSCAS ⁹	Milbond-TX	AF 1.0 mg/kg	Curcuminoides totales 74mg/kg HSCAS 0.5%	Curcumina 5.6% HSCAS 20% Curcumina+HCAS 22% [¥]
Glucomanano esterificado (GE) ¹⁰	-	AF 254 ppb/kg	GE 0.1% BS 0.5%	Reducción la susceptibilidad a enfermedades,
Bentonita sodio (BS) ¹⁰	Farmagulatör	AF 254 ppb/kg	AH 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1%	Reducción la susceptibilidad a enfermedades,
Acido humico (AH) ¹⁰	DRY™	AF 254 ppb/kg	AH 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1%	Reducción la susceptibilidad a enfermedades,
Glucomanano esterificado ¹¹	M/S Alltech	AFB1 0.3 mg/kg OTA 2 mg/kg T-2 3 mg/kg AFB1+OTA, AFB1+T-2, OTA+T-2, AFB1+OTA+T-2	1 g/kg	+2.6 a 4.6% para las micotoxinas individuales +0.3 a +1-5% cuando están en combinación
Glucomanano de levadura ¹²	Mycosorb	AF 184 µg/kg	0.5 g/kg 1.0 g/kg 1.5 g/kg	2.20% [¥] 6.00% [¥] 6.90% [¥] 20% [¥]
Extracto de la planta cardo mariano Silybum marianum ¹³	Silimarina	AFB1 0.8 mg/kg	600 mg/kg	20% [¥]
Herbomineral* ¹⁴	Toxiroak®	AF 0.2 ppm	0.75g/kg	AF +11.2% OTA

Tapia-Salazar, M. *et al.* 2010. Mycotoxins in aquaculture: Occurrence in feeds components and impact on animal performance. En: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuicola X - Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuicola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 514-546.

		OTA 0.2 ppm AF+OTA		+15.8% AF+OTA +8.3%
Acido linoleico conjugado ¹⁵	-	AF 200 µg/kg AF 300 µg/kg	2 g/kg 4 g/kg	Protección del hígado, disminuyo necrosis, infiltración de leucocitos y displasia multifocal
Aceite de girasol (AG) ¹⁶ , de soya (AS) ¹⁶ o de cacahuete (AC) ¹⁶	-	AF B1 0.3 mg/g	30 g/kg	AG + 13.3% [¥] AS +10.8% [¥] AC + 4.1%
N-acetilcisteína (NAC) ¹⁷	-	AFB1 3 mg/kg	800 mg/kg	7.10% [¥]

*extractos de *Allium sativum*, *Azadirachta indica*, *Solanum nigrum*, *Emblica officinalis*, *Curcuma longa* y aluminosilicato y aluminosilicato hidratado; ¥Tratamientos que dieron ganancias en peso equivalentes que la dieta control sin contaminar; ¹Oğuz & Kurtoğlu, 2000; ²Santurio *et al.*, 1999; ³Santin *et al.*, 2002; ⁴Pimpukdee *et al.*, 2004; ⁵Kubena *et al.*, 1998; ⁶Miazzo *et al.*, 2000; ⁷Landeros *et al.*, 2008; ⁸Denli & Okan, 2006; ⁹Gowda *et al.*, 2008; ¹⁰Ghahri *et al.*, 2009; ¹¹Raju & Devegowda, 2000; ¹²Kamalzadeh, Hosseini & Moradi, 2009; ¹³Tedesco *et al.*, 2004; ¹⁴Sakhare *et al.*, 2007; ¹⁵Denli *et al.*, 2005; ¹⁶Raju *et al.*, 2005; ¹⁷Valdivia *et al.*, 2001.
AF aflatoxinas, AFB1 aflatoxina B1, AFM1 aflatoxina M1, ZEA zearalenona, FUM fumonisina, DON deoxinivalenol, T-2 toxina T-2, OTA ocratoxina, NIV nivalenol, DAS diacetoxiscirpenol, VOM vomitoxina

En algunas ocasiones se han reportado efectos negativos debido a la inclusión de algunos secuestrantes y/o biotransformadores. Swamy *et al.* (2002) concluyen que la inclusión de MTB-100 no mejoró el rendimiento de cerdos que fueron alimentados con una dieta contaminada con DON y suplementadas con 0.05-0.2% de MTB-100, pero observó una mejora en algunos parámetros neuroquímicos evaluados; estos investigadores especularon que muy posiblemente una mayor concentración de micotoxinas totales observada en la dietas que contenían el producto MTB-100 (28.8 µg/kg vs 33.7-36.3 µg/kg) fueron las responsables de estos resultados. Santin *et al.* (2002) reportan que la inclusión de un aluminosilicato hidratado de calcio y sodio al 0.25% en dietas contaminadas con 2 ppm de ocratoxina no logró mitigar la reducción de la ganancia en peso e ingesta de alimento como resultado de la presencia de esta micotoxina, por el contrario la inclusión del secuestrante redujo en un 7% estos parámetros; estos investigadores mencionan que estos efectos negativos pudieron ser ocasionados por la posible adsorción de algunos micronutrientes importantes presentes en la dieta y que eran importantes para algunos procesos bioquímicos tal como la síntesis de proteínas.

Resultados de la inclusión de secuestrantes en alimentos para organismos acuáticos

Son pocos los estudios en peces donde se ha evaluado el efecto de la suplementación de secuestrantes, biotransformadores y/o protectores en peces alimentados con dietas suplementadas con micotoxinas. Algunos beneficios reportados ha sido una reducción importante en daños ocasionados a nivel de DNA en carpa inyectadas con una mezcla de 1:1 de AFB1 y una solución de una mezcla de hierbas-especies-sal de Amrita Bindu (Madhusudhanan *et al.*, 2006) y en tilapias inyectadas con AFB1 (9 y 18 mg/kg peso) y la administración de extractos de perejil o de romero (2 y 4 mg/kg; El-Barbary, 2008). También se ha reportado que la inclusión de clorofila es capaz de reducir la formación de hepatocarcinomas en trucha arcoíris expuestas a aflatoxinas (Breinholt *et al.*, 1999; Dashwood *et al.*, 1998; Simochic *et al.*, 2008).

Otros de los daños que ocasionan la presencia de micotoxinas es la inmunosupresión y por consecuencia una mayor susceptibilidad de los organismos a enfermedades. Algunos estudios al respecto muestran que la co-administración de β -13 glucanos, levamisol, DL- α -tocoferol y vitamina C en peces que fueron inyectados con AFB1 (1.25 mg/kg) presentaron una mayor sobrevivencia después de haber sido desafiados con *A. hydrophila* (Sahoo & Mukherjee, 2001a, b; 2002; 2003).

En cuanto a una reducción de los daños en tejido, El-Barbary & Mehrim (2009) reportan que la suplementación de extractos de perejil y romero logro reducir la mortalidad en tilapias alimentadas con dietas suplementadas con 9 y 18 mg/kg de aflatoxina B1 así como la reducción de los daños en tejido. Por otro lado, Shehata y colaboradores (2009) observan que la suplementación de vitamina C en alimentos para tilapia logro contrarrestar la reducción en peso ocasionado por la presencia 3 mg/kg, inclusión equiparables a la dieta control.

En cuanto a la suplementación de secuestrantes, Lim *et al.* (2001) observan que la adición de 0.5% del aluminosilicato SorbatoxTM en dietas para tilapias suplementadas con una

harina de almendra de palma fermentada y contaminada con aflatoxinas (75 a 100 µg/kg) no logró contrarrestar los efectos negativos ocasionados por esta micotoxina. Ellis *et al.* (2000) reportan que la suplementación de 2% de bentonita de sodio VolclayTM en dietas para trucha contaminadas con 20 µg/k de AFB1 logro bloquear la adsorción intestinal de aflatoxinas así como su acumulación en hígado y riñón, detectándose la presencia de aflatoxinas en heces. Eya *et al.* (2008) observo que la inclusión de 2.5 y 5.0% de bentonita y mordenita mejoró significativamente el crecimiento de truchas que consumieron dietas libres de micotoxinas, sin embargo la inclusión de 10.0% redujo ligeramente este parámetro. Lopes *et al.* (2004) observan que en la mayoría de los tratamientos que contenían un aluminosilicato de calcio y sodio y/o dietas contaminadas con aflatoxinas (150 a 350 µg/kg) y que fueron evaluados en bagre *R. quelen* presentaron una menor tasa de crecimiento. Estas diferencias en efectividad o efectos negativos ha sido relacionado con la fuente de la arcilla evaluada, tamaño de partícula, pre-tratamiento e incluso se ha reportado que algunos de estos compuestos tienen la capacidad de secuestrar algunos nutrientes en el alimento (Mumpton & Fishman, 1977; Willis, Quarles & Fagerberg, 1982; Galindo *et al.*, 2006).

En relación al tipo de productos donde se ha manejado mezclas de arcillas o bio-transformadores, Cam, Encarnação & Hung (2010) concluyen que la suplementación de Micofix® secure en dietas para bagre *P. hypophthalmus* contrarresto el efecto toxico de la presencia de 500 µg/kg AFB1; la ganancia en peso de los organismos que consumieron la dieta contaminada y suplementada con Micofix® secure presentó un rendimiento equivalente a la dieta control y además incrementó la resistencia de *P. hypophthalmus* a *E. ictalurii*.

En camarón, se ha evaluado algunos productos disponibles comercialmente y principalmente para aflatoxinas, ya sea utilizando aflatoxinas en forma pura o utilizando granos contaminados. En *P. monodon*, Soonngam & Hutacharoen (2007) observan que la inclusión de 10 g/kg de vermiculita y 10 g/kg de un aluminosilicato en dietas contaminadas con 500 ppb AFB1 incremento la ganancia en peso (22 y 35% con respecto a la dieta

contaminada), mejoró la tasa de conversión alimenticia y solamente para el caso de la vermiculita mejoró la sobrevivencia en un 16%. En camaron blanco *P. vannamei*, hemos encontrado que la inclusión de 4 g/ton del aluminosilicato Fixat® y 0.5% del aluminosilicato Quitaflax en alimentos contaminados con 500 ppb de AF mejora la ganancia en peso en un 10% con respecto a la dieta contaminada y mejora tasa de conversión alimenticia (datos sin publicar). Por otro lado, para el caso del Fixat® observamos una mejora en la utilización neta de proteína además incrementar la actividad de las células B y reducir la atrofia de los túbulos del hepatopáncreas ocasionada por la presencia de aflatoxinas (datos sin publicar). Para el caso de la inclusión de otras micotoxinas, Nieto Lopez y colaboradores (2007) reportan que la presencia de zearalenona (1000 y 2000 ppb) a alimentos para *L. vannamei* no afecto su rendimiento y que la inclusión del aluminosilicato ZEOTEC® (1.5 g/kg) incremento la ganancia en peso en un 46% con respecto a la dieta sin contaminar además de incrementar significativamente el consumo del alimento y la tasa de conversión alimenticia.

Aunque existen pocos reportes sobre el beneficio de la inclusión de secuestrantes, biotransformadores y otros compuestos en alimentos acuaticos, es necesario realizar mas estudios y análisis mas profundos; trabajos relizados en nuestro laboratorio muestran que a partir de los 7 dias de alimentación con dietas contaminadas con aflatoxinas, reduce significativamente el crecimiento en 17, 26 y 33 % con dietas contaminadas con 500, 1000 y 2000 ppb de aflatoxinas. El consumo de alimento de igual manera se reduce significativamente (13, 22 y 24% con respecto al control) y a partir de los 21 días se observan mortalidades ($P < 0.05$), después de 28 días de alimentación la tasa de mortalidad fue de 12, 28 y 38% para las dietas suplementadas con 500, 1000 y 2000 ppb. Por otro lado, los estudios histológicos revelan que la presencia de aflatoxinas a partir de 500 ppb reducen de manera significativa la actividad de las células B así como la actividad mitótica de las células E; además de causar inflamación y atrofia de los túbulos del hepatopáncreas.

Es importante considerar un sin número de factores antes de seleccionarse el compuesto ó producto adecuado para su inclusión en alimentos para camarón, aunque algunas arcillas

reportan efectos positivos en animales terrestres es importante 1) descartar una posible interacción de estos compuestos sobre la disponibilidad de nutrientes, 2) la toxicidad y tipo de micotoxina evaluada, la gran mayoría de los estudios realizados en camarón muestran que la aflatoxina es una de las micotoxinas mas toxicas y que para el caso de la zearalenona no hay un efecto negativo evidente, 3) la efectividad del secuestrante dependerá del nivel de concentración de la micotoxina presente, 4) es necesario evaluar la efectividad del producto en estudios *in vivo* y a diferentes niveles de inclusión de micotoxinas, 5) es necesario realizar mas evaluaciones de otros productos disponibles comercialmente, aunque en estudios en animales terrestres muestran que la utilización de productos compuestos por mezclas (aluminosilicatos, biotransformadores y/o protectores) han dado los mejores resultados, incluso algunos estudios muestran rendimientos similares a la dieta sin contaminar.

Referencias

- Aoudia, N., Callu, P., Grosjean, F., Larondelle, Y. 2009. Effectiveness of mycotoxin sequestration activity of micronized wheat fibres on distribution of ochratoxin A in plasma, liver and kidney of piglets fed a naturally contaminated diet. *Food Chem Toxicol.* 47(7), 1485-1489.
- Avantaggiato, G., Solfrizzo, M., Visconti, A. 2005. Recent advances on the use of adsorbent materials for detoxification of Fusarium mycotoxins. *Food Additives and Contaminants* 22(4), 379–388.
- Awad, W.A., Böhm, J., Razzazi-Fazeli, E., Zentek, J. 2006. Effects of feeding deoxynivalenol contaminated wheat on growth performance, organ weights and histological parameters of the intestine of broiler chickens. *Journal of Animal Physiology & Animal Nutrition* 90(1/2), 32-37
- Bautista M.N., Lavilla-Pitogo C.R., Subosa, P.F., Begino, E.T. 1995. Aflatoxin B1 contamination of shrimp feeds and its effect on growth and hepatopancreas of pre-adult *Penaeus monodon*. *J. Sc. Food Agric.* 65(1), 5-11.
- Berthiller, F., Schuhmacher, R., Adam, G., Krska, R. 2009. Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins. *Anal Bioanal Chem.* 395(5), 1243-1252.
- Boonyaratpalin, M., Supamattaya, K., Verakunpiriya, V., Supraser, D. (2001) Effects of aflatoxin B₁ on growth performance, blood components, immune function and histopathological changes in black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius). *Aquaculture Research* 32 (supplement 1), 388-398.
- Boudergue, C., Burel, Ch., Dragacci, S., Favrot, M. Ch., Fremy, J.M., Massimi, C., Prigent, P., Debongnie, P., Pussemier, L., Boudra, H., Morgavi, D., Oswald, I., Perez, A., Avantaggiato, G. 2009. Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of action, efficacy and feed/food safety. Scientific report submitted to EFSA. 192 p. Reference number of the call for proposal: CFP/EFSA/FEEDAP/2009/01.
- Borutova, R., Faix, S., Placha, I., Gresakova, L., Cobanova, K., Leng, L. 2008. Effects of deoxynivalenol and zearalenone on oxidative stress and blood phagocytic activity in broilers. *Archives of Animal Nutrition* 62(4), 303–312
- Breinholt, V., Arbogast, D., Loveland, P., Pereira, C., Dashwood, R., Hendricks, J., Bailey, G. 1999. Chlorophyllin chemoprevention in trout initiated by aflatoxin B1 bath treatment: An evaluation of reduced bioavailability vs. target organ protective mechanisms. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 158, 141–151.
- Broomhead, J.N., Ledoux, R.D., Bermudez, A.J., Rottinghaus, G.E. 2002. Chronic effects of fumonisin B1 in broilers and turkeys fed dietary treatments to market age. *Poultry Science* 81, 56-61.
- Bundit, O., Kanghae, H., Phromkunthong, W., Supamattaya, K. 2006. Effects of mycotoxin T-2 and zearalenone on histopathological changes in black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius). *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 28(5), 937-949.
- Cam, T.D., Encarnação, P., Hung, L.T. 2010. Aflatoxin B1 reduces growth performance, physiological response and disease resistance in Tra catfish (*Pangasius hypophtha*). In the 14th international symposium on fish nutrition and feeding, Program and abstracts P-189, pag. 341. May 31 to June 4, 2010, Qingdao, China.
- Carson, M.S., Smith, T.K. 1983. Role of bentonite in prevention of T-2 toxicosis in rats. *J Anim Sci* 57,1498-1506.
- Carlson, D.B., Williams, D.E., Spitsbergen, J.M., Ross, P.F., Bacon, C.W., Meredith, F.I., Riley, R.T. 2001. Fumonisin B1 promotes aflatoxin B1 and N-methyl-N'-nitro-nitrosoguanidine-initiated liver tumors in rainbow trout. *Toxicol Appl Pharmacol.* 172(1), 29-36.
- Castaing, J. 1998. Uso de las arcillas en alimentación animal. XIV Curso de Especialización FEDNA: Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Eds.: P.G^a. Rebollar, C. de Blas y G.G. Mateos. Fira de Barcelona, España. 141-158 p.
- Dänicke, S., Goyarts, T., Valenta, H. 2007. On the specific and unspecific effects of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent on piglets when fed with uncontaminated or with Fusarium toxins contaminated diets. *Archives of Animal Nutrition* 61(4), 266-275.

- Dashwood, R., Negishi, T., Hayatsu, H., Breinholt, V., Hendricks, J., Bailey, G. 1998. Chemopreventive properties of chlorophylls towards aflatoxin B1 a review of the antimutagenicity and anticarcinogenicity data in rainbow trout Mutation Research 399, 245–253.
- Denli, M., Okan, F., Doran, F., İnal, T. C. 2005. Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) on carcass quality, serum lipid variables and histopathological changes of broiler chickens infected with aflatoxin B1. South African Journal of Animal Science 35 (2), 109-116.
- Denli, M., Okan, F. 2006. Efficacy of different adsorbents in reducing the toxic effects of aflatoxin B1 in broiler diets. South African Journal of Animal Science 36 (4), 222-228.
- Denli, M., Blandon, J.C., Guynot, M.E., Salado, S., Perez, J.F. 2009. Effects of dietary AflaDetox on performance, serum biochemistry, histopathological changes, and aflatoxin residues in broilers exposed to aflatoxin B1. Poultry Science 88, 1444–1451.
- Dersjant-Li, Y., Verstegen, M.W.A., Gerrits, W.J.J. 2003. The impact of low concentrations of aflatoxin, deoxynivalenol or fumonisin in diets on growing pigs and poultry. In: Nutrition Research Review 16, 223-239. Cambridge University Press.
- Díaz-Llano, G., Smith, T.K. 2006. Effects of feeding grains naturally contaminated with Fusarium mycotoxins with and without a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent on reproductive performance and serum chemistry of pregnant gilts. J Anim Sci 84, 2361-2366.
- Diaz, D. 2005. The Mycotoxin Blue Book. Nottingham University Press, 349 pp.
- Dong, M., He, X.J., Tulayakul, P., Li, J.-Y., Dong, K.-S., Manabe, N., Nakayama, H., Kumagai, S. 2010. The toxic effects and fate of intravenously administered zearalenone in goats. Toxicon 55(2/3), 523-530.
- Döll, S., Gericke, S., Dänicke, S., Raila, J., Ueberschär, K.H., Valenta, H., Schnurrbusch, U., Schweigert, F.J., Flachowsky, G. 2005. The efficacy of a modified aluminosilicate as a detoxifying agent in Fusarium toxin contaminated maize containing diets for piglets. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 89, 342-358.
- Döll, S., Baardsen, G., Möller, P., Koppe, W., Stubhaug, I., Dänicke, S. 2010. Effects of increasing concentrations of mycotoxins deoxynivalenol, zearalenone or ochratoxin A in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) on growth performance and health. In the 14th international symposium on fish nutrition and feeding, Program and abstracts O.074, pag 120. May 31 to June 4, 2010, Qingdao, China.
- El-Barbary, M.I. 2008. Aflatoxin B Induced-Changes in Protein Electrophoretic Pattern and DNA in *Oreochromis niloticus* with Special Emphasis on the Protective Effect of Rosemary and Parsley Extracts. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 4 (3): 381-390.
- El-Barbary, M.I., Mehrim, A.I. 2009. Protective Effect of Antioxidant Medicinal Herbs, Rosemary and Parsley, on Subacute Aflatoxicosis in *Oreochromis niloticus*. Journal of Fisheries and Aquatic Science, 4(4), 178-190.
- Ellis, R.W., Clements, M., Tibbetts, A., Winfree, R. 2000. Reduction of the bioavailability of 20 mgrkg aflatoxin in trout feed containing clay. Aquaculture 183, 179–188.
- El-Sayed, Y.S., Khalil, R.H., Saad, T.T. 2009. Acute toxicity of ochratoxin-A in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Chemosphere 75, 878–882.
- Eya, J.C., Parsons, A., Haile, I., Jagidi, P. 2008. Effects of dietary zeolites (Bentonite and Mordenite) on the performance juvenile Rainbow trout *Onchorhynchus mykiss*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2(4), 961-967.
- Fink-Gremmels, J. 1999. Mycotoxins: their implications for human and animal health. Vet Q. 21(4), 115-120.
- Frankic, T., Pajk, T., Rezar, V., Levart, A., Salobir, J. 2006. The role of dietary nucleotides in reduction of DNA damage induced by T-2 toxin and deoxynivalenol in chicken leukocytes. Food Chem Toxicol. 44(11), 1838-1844.
- Galindo, J., Jaime, B., Fraga, I., Alvarez, J.S., 2006. Empleo de la zeolita en la alimentación del camarón blanco *Litopenaeus schmitti*. Comunicación Científica - CIVA 2006 (<http://www.civa2006.org>), 106-112.
- Garaleviciene, D., Pettersson, H., Elwinger, K. 2002. Effects on health and blood plasma parameters of laying hens by pure nivalenol in the diet. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 86, 389-398

- Ghahri, H., Talebi, A., Chamani, M., Lotfollahian, H., Afzali, N. 2009. Ameliorative effect of esterified glucomannan, sodium bentonite, and humic acid on humoral immunity of broilers during chronic aflatoxicosis. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 33(5), 419-425.
- Gimeno, A., Martins, M.L. 2007. Micotoxinas y micotoxicosis en animales y humanos. © 2006 by SPECIAL NUTRIENTS, INC. 2766 SW Douglas Road, Miami, FL 33133 USA. Traducciones Victor Mireles, Ciudad de México, México. Julio 2007. 128 p.
- Gopinath, R., Raj, R.P. 2009. Histological alterations in the hepatopancreas of *Penaeus monodon* Fabricius (1798) given aflatoxin B₁-incorporated diets. *Aquaculture Research* 40(11), 1235 - 1242
- Gowda, N.K.S., Ledoux, D. R., Rottinghaus, G.E., Bermudez, A.J., Chen, Y.C. 2008. Efficacy of turmeric (*Curcuma longa*), containing a known level of curcumin, and a hydrated sodium calcium aluminosilicate to ameliorate the adverse effects of aflatoxin in broiler chicks. *Poultry Science* 87, 1125-1130.
- Guarisco, J.A., Hall, J.O., Coulombe, R.A. Jr. 2008. Mechanisms of butylated hydroxytoluene chemoprevention of aflatoxicosis - inhibition of aflatoxin B1 metabolism. *Toxicol Appl Pharmacol.* 227(3), 339-346.
- Gupta, S., Jindal, N., Khokhar, R.S., Rajesh, R., Asrani, R.K., Ledoux, D.R., Rottinghaus, G.E. 2008. Individual and combined effects of ochratoxin A and Salmonella enterica serovar Gallinarum infection on pathological changes in broiler chickens. *Avian Pathology* 37(3), 265-272
- Gutzwiller, A., Czeglédi, L., Stoll, P., Bruckner, L. 2007. Effects of Fusarium toxins on growth, humoral immune response and internal organs in weaner pigs, and the efficacy of apple pomace as an antidote. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 91(9-10), 432-438.
- Harvey, R.B., Kubena, L.F., Elissalde, M.H., Corrier, D.E., Huff, W.E., Rottinghaus, G.E., Clement, B.A. 1991. Cocontamination of swine diets by aflatoxin and diacetoxyscirpenol. *J Vet Diagn Invest* 3, 155-160.
- Henry, M.H., Wyatt, R.D., Fletcher, O.J. 2000. The toxicity of purified fumonisin B1 in broiler chicks. 2000 *Poultry Science* 79, 1378-1384
- Hooft, J., Bureau, D.P. 2010. Mycotoxins In feed affect fish health, performance. *Aquaculture Avocate magazine*. The Global Aquaculture Alliance. Issue March-April 2010, 31-32.
- House, J. D., Abramson, D., Crow, G.H., Nyachoti, C.M. 2002. Feed intake, growth and carcass parameters of swine consuming diets containing low levels of deoxynivalenol from naturally contaminated barley. *Canadian Journal of Animal Science* 82, 559-565.
- Hussein, H.S., Brasel, J.M. 2001. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology* 167(2), 101-134.
- Huwig, A., Freimund, S., Kappeli, O., Dutler, H. 2001. Mycotoxin detoxification of animal feed by different adsorbents. *Toxicol. Lett.*, 122, 179-188.
- James, L.J., Smith, T.K., 1982. Effect of dietary alfalfa on zearalenone toxicity and metabolism in rats and swine. *Journal of Animal Science*, 55, 110-118.
- Jouany, J.P., Yiannikouris, A., Bertin, G. 2005. The chemical bonds between mycotoxins and cell wall components of *Saccharomyces cerevisiae* have been identified. *Archiva Zootechnica* 8, 25-50.
- Kabak, B., Dobson, A.D., Var, I. 2006. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 46(8), 593-619.
- Kabak, B., 2009. The fate of mycotoxins during thermal food processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 549-554.
- Kamalzadeh, A., Hosseini, A., Moradi, S. 2009. Effects of yeast glucomannan on performance of broiler chickens. *Int. J. Agric. Biol.*, 11(1), 49-53.
- Kubena, L.F., Harvey, R.B., Bailey, R.H., Buckley, S.A. Rottinghaus, G.E. 1998. Effects of a hydrated sodium calcium aluminosilicate (T-Bindä) on mycotoxicosis in young broiler chickens. *Poultry Science* 77, 1502-1509.
- Landeros, P., Reyes, W.P., deLucas, E., Albarrán, E., López, Y., Quezada, T. 2008. Evaluación de dos adsorbentes (manano oligosacáridos y clinoptilolita) en dietas de pollos de engorde contaminadas con fumonisin B1. *Rev. Salud Anim.* 30(1), 50-58.
- Lawlor, P.G., Lynch, P.B. 2001. Mycotoxins in pig feeds 1: source of toxins, prevention and management of mycotoxicosis. *Peer review* 54(3), 117-120.

- Leung, M.C., Diaz-Llano, G., Smith, T.K. 2006. Mycotoxins in pet food: a review on worldwide prevalence and preventative strategies. *J Agric Food Chem.* 54(26), 9623-9635.
- Lightner, D.V., Redman, R.M. 1985. Necrosis of the hepatopancreas in *Penaeus monodon* and *P. stylirostris* (Arthropoda, Decapoda) with red disease. *Journal of Fish Diseases* 8, 181-188
- Lim, H.A., Ng, W.K., Lim, S.L., Ibrahim, C.O. 2001. Contamination of palm kernel meal with *Aspergillus Flavus* affects its nutritive value in pelleted feed for tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture Research*, 32, 895-905
- Lopes, P.R.S., Pouey, J.L.O.F., Enke, D.B.S., Mallmann, C.A., Kich, H.A., Soquetta, M.B. 2009. Utilização de adsorvente em rações contendo aflatoxina para alevinos de jundiá. *R. Bras. Zootec.* 38(4), 589-595.
- Madhusudhanan, N., Kavithalakshmi, S.N., Shanmugasundaram, E.R.B., Shanmugasundaram, K. R. 2006. Aflatoxin B1-Induced DNA Damage in *Labeo rohita*: Protective Effect of an Antioxidant Supplement, *Amrita Bindu*. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 98, 473-479.
- Malagutti, L., Zannotti, M., Scampini, A., Sciaraffia, F. 2005. Effects of Ochratoxin A on heavy pig production. *Anim. Res.* 54, 179-184.
- Manning, B.B., Li, M.H., Robinson, E.H., Gaunt, P.S., Camus, A.C., Rottinghaus, G.E. 2003. Response of channel catfish to diets containing T-2 toxin. *Journal of Aquatic Animal Health* 15, 229-238
- Manning, B.B., Terhune, J.S., Li, M.H., Robinson, E.H., Wise, D.J., Rottinghaus, G.E. 2005. Exposure to feedborne mycotoxins T-2 toxin or ochratoxin a causes increased mortality of channel catfish challenged with *Edwardsiella ictaluri*. *Journal of Aquatic Animal Health* 17(2), 147-152
- Markham, R.J.F., Erhardt, N.P., Dininno, V.L., Penman, D., Bhatti, A.R. 1987. Flavonoids protect against T-2 mycotoxins both in vitro and in vivo. *Journal of General Microbiologi* 133, 1589- 1592
- Marnewick, J.L., van der Westhuizen, F.H., Joubert, E., Swanevelder, S., Swart, P., Gelderblom, W.C. 2009. Chemoprotective properties of rooibos (*Aspalathus linearis*), honeybush (*Cyclopia intermedia*) herbal and green and black (*Camellia sinensis*) teas against cancer promotion induced by fumonisin B1 in rat liver. *Food Chem Toxicol.* 47(1), 220-229.
- Mexía-Salazar, A.L., Hernández-López, J., Burgos-Hernández, A., Cortez-Rocha, M.O., Castro-Longoria, R., Ezquerro-Brauer, J. M. 2008. Role of fumonisin B1 on the immune system, histopathology, and muscle proteins of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Food Chemistry* 110(2), 471-479.
- Miazzo, R., Rosa, C.A.R., De Queiroz Carvalho, E.C., Magnoli, C., Chiacchiera, S.M., Palacio, G., Saenz, M., Kikot, A., Basaldella, E., Dalcerro, A. 2000. Efficacy of synthetic zeolite to reduce the toxicity of aflatoxin in broiler chicks. *Poultry Science* 79, 1-6.
- Mitchell, J. K. 1993. *Fundamentals of Soil Behavior*. Second edition. New York, John Wiley & Sons, Inc. 437p.
- Mohapatra, S., Sahu, N.P., Pal, A.K., Prusty, A.K., Kumar, V., Kumar, S. 2010. Haemato-immunology and histo-architectural changes in *Labeo rohita* fingerlings: effect of dietary aflatoxin and mould inhibitor. *Fish Physiology and Biochemistry* 10.1007/s10695-010-9428-1.
- Mumpton, F.A., Fishman, P.H. 1977. The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. *Journal of Animal Science* 45(5), 1188-1203.
- Naaz, F., Javed, S., Abidin, M. Z. 2007. Hepatoprotective effect of ethanolic extract of *Phyllanthus amarus* Schum. et Thonn. on aflatoxin B1-induced liver damage in mice. *J Ethnopharmacol.* 113(3), 503-509.
- Nieto-López, M.G., Medina, J.C., Rique-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Guajardo-Barbosa, C., Cruz-Suárez, L.E. 2007. Efecto de la zearalenona y de un organoaluminosilicato en rendimiento de camarón blanco. XIII Congreso Bienal AMENA 2007. 23-26 Octubre, 2007. World Trade Center, Boca del Río Veracruz, México.
- Nguyen, Q. T., Ogle, B., Pettersson, H. 2008. Efficacy of bentonite clay in ameliorating aflatoxicosis in piglets fed aflatoxin contaminated diets. *Trop Anim Health Prod.* 40, 649-656.
- Offord, E.A., Mace, K., Avant, O., Pfefer, A.M.A. 1997. Mechanisms involved in the chemoprotective effects of rosemary extract studied in human liver and branchial cells. *Cancer Letters* 114, 275-281.
- Oguz, H., Kurtoglu, V. 2000. Effect of clinoptilolite on performance of broiler chickens during experimental aflatoxicosis. *British Poultry Science* 41, 512-517
- Ostrowski-Meissner, H.T., LeaMaster, B.R., Duerr, E.O., Walsh, W.A. 1995. Sensivity of the pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*, to aflatoxin B1. *Aquaculture* 131, 155-164.

- Ottinger, C.A., Kaattari, S.L. 2000. Long-term immune dysfunction in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed as embryos to aflatoxin B₁. *Fish and Shellfish Immunology* 10, 101-106.
- Overy, D.P., Seifert, K.A., Savard, M.E., Frisvad, J.C. 2003. Spoilage fungi and their mycotoxins in commercially marketed chestnuts. *Int J Food Microbiol.* 88(1), 69-77.
- Pettersson, H. 2004. Controlling mycotoxins in animal feed. In *Mycotoxins in food: Detection and control*. Edited by M Magan and M Olsen. Woodhead Publishing. ISBN 1855737337. Chapter 12, 43 pp.
- Petrinec, Z., Pepeljnjak, S., Kovacic, S., Krznaric, A. 2004. Fumonisin B1 causes multiple lesions in common carp (*Cyprinus carpio*). *Dtsch Tierarztl Wochenschr.* 111(9), 358-63.
- Pier, A. C., Richard, J. L., Cyzewski, S. J. 1980. Implications of mycotoxins in animal disease, *J Am Vet Med Assoc*, 176, 719-724.
- Pimpukdee, K., Kubena, L.F., Bailey, C.A., Huebner, H.J., Afriyie-Gyawu, E., Phillips, T.D. 2004. Aflatoxin-induced toxicity and depletion of hepatic vitamin A in young broiler chicks: protection of chicks in the presence of low levels of NovaSil plus in the diet. *Poultry Science* 83, 737-744.
- Raju, M.V.L.N., Devegoda, G. 2000. Influence of esterified-glucomannan on performance and organ morphology, serum biochemistry and haematology in broilers exposed to individual and combined mycotoxicosis (aflatoxin, ochratoxin and T-2 toxin). *British Poultry Science* 41, 640-650.
- Raju, M.V.L.R., Rama, S.V., Radhika, R.K., Panda, A.K. 2005. Effect of amount and source of supplemental dietary vegetable oil on broiler chickens exposed to aflatoxicosis. *British Poultry Science* 46 (5), 587-594.
- Ramos, A.J., Hernández, E. 1996. In vitro aflatoxin adsorption by means of a montmorillonite silicate. A study of adsorption isotherms. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62, 263-269.
- Renzulli, C., Galvano, F., Pierdomenico, L., Speroni, E., Guerra, M.C. 2004. Effects of rosmarinic acid against aflatoxin B1 and ochratoxin-A-induced cell damage in a human hepatoma cell line (Hep G2). *J Appl Toxicol.* 24(4), 289-296.
- Sahoo, P.K., Mukherjee, S.C. 2001a. Effect of dietary β -1,3 glucan on immune responses and disease resistance of healthy and aflatoxin B1-induced immunocompromised rohu (*Labeo rohita* Hamilton). *Fish & Shellfish Immunology* 11, 683-695.
- Sahoo, P.K., Mukherjee, S.C. 2001b. Dietary intake of levamisole improves non-specific immunity and disease resistance of healthy and aflatoxin induced immunocompromised rohu, *Labeo rohita*. *Journal of applied aquaculture* 11(4), 15-25.
- Sahoo, P.K., Mukherjee, S.C. 2002. Influence of high dietary α -tocopherol intakes on specific immune response, nonspecific resistance factors and disease resistance of healthy and aflatoxin B1-induced immunocompromised Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). *Aquaculture Nutrition* 8, 159-167
- Sahoo, P.K., Mukherjee, S.C. 2003. Immunodulation by dietary vitamin C in healthy and aflatoxin B1 induced immunocompromised rohu (*Labeo rohita*). *Comparative Immunology, Microbiology and infectious Diseases* 26, 65-76.
- Sakhare, P. S., Harne, S.D., Kalorey, D.R., Warke, S.R., Bhandarkar, A.G., Kurkure, N.V. 2007. Effect of Toxiroak polyherbal feed supplement during induced aflatoxicosis, ochratoxicosis and combined mycotoxicoses in broilers. *Vet. arhiv* 77, 129-146.
- Santin, E., Maiorka, A., Krabbe, E.L., Paulillo, A.C., Alessi, A.C. 2002. Effect of hydrated sodium calcium aluminosilicate on the prevention of the toxic effects of ochratoxin. *J. Appl. Poult. Res.* 11, 22-28.
- Santurio, J.M., Mallmann, C.A., Prosa, A., Appel, G., Heer, A., Dageförde, S., Böttcher, M. 1999. Effect of sodium bentonite on the performance and blood variables of broiler chickens intoxicated with aflatoxins. *British Poultry Science* 40, 115-119.
- Schell, T.C., Lindemann, M.D., Kornegay, E.T., Blodgett, D.J. 1993. Effects of feeding aflatoxin-contaminated diets with and without clay to weanling and growing pigs on performance, liver function, and mineral metabolism. *J Anim Sci.* 71, 1209-1218.
- Shehata, S.A., El-Melegy, Kh.M., Ebrahim M.S. 2009. Toxicity Reduction of Aflatoxin B1 by Vitamin C in Fish. *Journal of the Arabian Aquaculture Society* 4(2), 73-86.
- Shi, Y. H., Xu, Z.R., Wang, Ch. Z., Sun, Y. 2007. Efficacy of two different types of montmorillonite to reduce the toxicity of aflatoxin in pigs. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 50, 473-478.
- Shi, Y. 2008. Mechanisms of polyunsaturated fatty acids inhibition of mycotoxin deoxivalenol induce immune response. PhD thesis Food science and environmental toxicology. Michigan State University, 184 p.

- Simonich, M.T., McQuistan, T., Jubert, C., Pereira, C., Hendricks, J.D., Schimerlik, M., Zhu, B., Dashwood, R.H., Williams, D.E., Bailey, G.S. 2008. Low-dose dietary chlorophyll inhibits multi-organ carcinogenesis in the rainbow trout. *Food Chem Toxicol.* 46(3), 1014-1024.
- Sinnhuber, R.O., Lee, D. J., Wales, H.J., Landers, M.K., Key, A.C. 1974. Hepatic carcinogenesis of aflatoxin M1 in rainbow trout *Salmo gairdneri*. and its enhancement by cyclo-propene fatty acids, *J. Natl. Cancer Inst.* 53, 1285-1288.
- Smith, T.K., McMillan, E.G., Castillo, J.B. 1997. Effect of feeding blends of *Fusarium* mycotoxin-contaminated grains containing deoxynivalenol and fusaric acid on growth and feed consumption of immature swine. *J Anim Sci* 75, 2184-2191.
- Smith, G.W., Constable, P.D., Eppley, R.M., Tumbleson, M.E., Gumprecht, L.A., Haschek-Hock, W.M. 2000. Purified fumonisin B1 decreases cardiovascular function but does not alter pulmonary capillary permeability in swine. *Toxicological Sciences* 56, 240-249.
- Soonngam, Ch. A. L., Hutacharoen, R. 2007. Vermiculite and hydrated sodium calcium aluminosilicates as the agent of aflatoxin b1 absorption for black tiger shrimp diets. *Environment and Natural Resources Journal* 5(1), 50-58.
- Stangroom, K.E., Smith, T.K., 1984. Effect of whole and fractionated dietary alfalfa meal on zearalenone toxicosis in rats and swine. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 62, 1219-1224.
- Supamattaya K., Sukrakanchana N., Boonyaratpalin M., Schatzmayr D., Chittiwat V. 2005. Effects of ochratoxin A and deoxynivalenol on growth performance and immuno-physiological parameters in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 27, 91-99.
- Swamy, H.V.L.N., Smith, T.K., MacDonald, E.J., Boermans, H.J., Squires, E.J. 2002. Effects of feeding a blend of grains naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins on swine performance, brain regional neurochemistry, and serum chemistry and the efficacy of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent. *J Anim. Sci.*, 80, 3257-3267.
- Swamy, H.V., Smith, T.K., MacDonald, E.J., Karrow, N.A., Woodward, B., Boermans, H.J. 2003. Effects of feeding a blend of grains naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins on growth and immunological measurements of starter pigs, and the efficacy of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent. *J Anim Sci.* 81(11), 2792-803.
- Takagi, M., Mukai, S., Kuriyagawa, T., Takagaki, K., Uno, S., Kokushi, E., Otoi, T., Budiyanto, A., Shirasuna, K., Miyamoto, A., Kawamura, O., Okamoto, K., Deguchi, E. 2008. Detection of zearalenone and its metabolites in naturally contaminated follicular fluids by using LC/MS/MS and in vitro effects of zearalenone on oocyte maturation in cattle. *Reproductive Toxicology* 26(2), 164-169.
- Tedesco, D., Steidler, S., Galletti, S., Tameni, M., Sonzogni, O., Ravarotto, L. 2004. Efficacy of silymarin-phospholipid complex in reducing the toxicity of aflatoxin B1 in broiler chicks. *Poultry Science* 83, 1839-1843.
- Tessari, E.N.C., Oliveira, C.A.F., Cardoso, A.L.S.P., Ledoux, D.R. Rottinghaus, G.E. 2006. Effects of aflatoxin B1 and fumonisin B1 on body weight, antibody titres and histology of broiler chicks. *British Poultry Science* 47(3), 357-364.
- Tiemann, U., Daumnicke, S. 2007. In vivo and in vitro effects of the mycotoxins zearalenone and deoxynivalenol on different non-reproductive and reproductive organs in female pigs: A review. *Food Additives & Contaminants: Part A* 24(3), 306 – 314.
- Trigo-Stockli D.M., Obaldo L.G., Dominy W.G. & Behnke, K.C. (2000) Utilization of deoxynivalenol-contaminated hard red winter wheat for shrimp feeds. *Journal of the World Aquaculture Society* 31, 247-254.
- Valdivia, A.G., Martínez, A., Damián, F.J., Quezada, T., Ortiz, R., Martínez, C., Llamas, J., Rodríguez, M.L., Yamamoto, L., Jaramillo, F., Loarca-Piña, M.G., Reyes, J.L. 2001. Efficacy of N-Acetylcysteine to reduce the effects of aflatoxin B1 intoxication in broiler chickens. *Poultry Science* 80, 727-734.
- Wang, P., Afriyie-Gyawu, E., Tang, Y., Johnson, N., Xu, L., Tang, L., Huebner, H., Ankrah, N.-A., Ofori-Adjei, D., Ellis, R.W., Jolly, P., Williams, J., Wang, J.-S., Phillips, T.D., 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.

- Weaver, G.A., Kurtz, H.J., Bates, F.Y., Mirocha, C.J., Behrens, J.C., Hagler, W.M. 1981. Diacetoxyscirpenol toxicity in pigs. *Res Vet Sci.* 31(2), 131-5.
- Weber, M., Balogh, K., Erdélyi, M., Mézes, M. 2006. Effect of T-2 toxin in combination with vitamin E, selenium and mycotoxin binder on lipid peroxide status and on the glutathione redox system in broiler chicken. *The Journal of Poultry Science* 43, 222-227.
- Weber, M., Balogh, K., Fodor, J., Erdélyi, M., Ancsin, Z., Mézes, M. 2010. Effect of T-2 and HT-2 toxin during the growing period on body weight, lipid peroxide and glutathione redox status of broiler chickens. *ACTA VET. BRNO* 79, 27-31.
- Willis, W.L., Quarles, C.L., Fagerberg, D.J. 1982 Evaluation of zeolites fed to male broiler chickens. *Poultry Science* 61, 438-442.
- Wiseman MO, Price RL, Lighthner DV, Williams RR. 1982. Toxicity of Aflatoxin B1 to penaeid shrimp. *Appl. Environ. Microbiol.* 44(6), 1479-1481.
- Woodward B., Young L.G. & Lun A.K. (1983) Vomitoxin in diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 35, 93-101.
- Yiannikouris, A., Andre, G., Poughon, L., Francois, J., Dussap, C. G., Jeminet, G., Bertin, G., Jouany, J.P. 2006. Chemical and conformational study of the interactions involved in mycotoxin complexation with β -D-Glucans. *Biomacromolecules* 7, 1147-1155.
- Yildirim M, Manning B.B., Lovell R.T., Grizzle J.M. & Rottinghaus, G.E. (2000) Toxicity of moniliformin and fumonisin B₁ fed singly and in combination in diets for young channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 31, 599-608.