



**Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“Adsorción de aflatoxina B₁ en esmectitas saturadas con
aluminio”**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de:

Licenciatura en Ingeniería Química

Presenta:

Víctor Martínez Hernández

Director de Tesis:

Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide

Puebla, Pue. Febrero, 2019

Contenido

Introducción	3
1.1 Estado del arte.....	5
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3 Justificación	9
1.4 Objetivo general.....	9
1.5 Objetivo particulares	10
1.6 Hipótesis	10
1.7 Marco teórico	10
1.7.1 Micotoxinas.....	10
1.7.2 Factores que promueven micotoxinas	11
1.7.3 Problema de las micotoxinas	13
1.7.4 Legislación.....	15
1.7.5 Aflatoxinas	17
1.7.6 Aflatoxina B1	17
1.7.7 Aflatoxinas en México.....	18
1.7.8 Descontaminación de micotoxinas	18
1.7.8.1 Degradación física.....	19
1.7.8.2 Degradación química.....	19
1.7.8.3 Degradación biológica	19
1.7.9 Arcillas	20
1.7.9.1 Arcillas como descontaminantes de Aflatoxina.....	22
Capítulo 2 Metodología.....	25
2.1 Caracterización física y química de las muestras de esmectita utilizadas ...	25
2.2 Adsorción de aflatoxina en las muestras de esmectita seleccionadas.....	31
2.3. Saturación de muestras con $AlCl_3$	32
Capítulo 3 Resultados y Discusión	34
Referencias	45

Introducción

En los últimos años, la contaminación por micotoxinas ha causado grandes daños a la salud humana y se convierte en un problema grave para el desarrollo socioeconómico de la población.(Zeng et al., 2013).

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por los hongos después de infestar el grano y otros cultivos alimenticios. El cultivo puede estar contaminado por micotoxinas: como parásitos en las plantas vivas, durante la cosecha y en el tiempo de almacenamiento (Jaynes, Zartman y Hudnall, 2007).

Estos metabolitos constituyen un conjunto toxígeno y químicamente heterogéneo en el que se agrupan sólo los miembros que pueden causar enfermedad y hasta la muerte en los seres humanos y otros vertebrados (Bennett y Klich, 2003).

Las aflatoxinas son micotoxinas cancerígenas, teratogénicas y mutagénicas, que tienen tropismo por órganos como hígado, cerebro y riñón; estas toxinas son producidas bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad. Se han descrito 18 tipos de esta micotoxina donde se destacan B1, B2, G1, G2, M1, M2; el metabolito tóxico más importante de este grupo es la aflatoxina B₁ (Serrano y Cardona, 2015).

Actualmente esta toxina se encuentra reportada para granos de maíz, frutas secas, etc., esta contaminación por aflatoxinas se está volviendo inevitable en productos alimenticios debido a los factores de promoción que a su vez están involucrados en su producción (Atongbiik, Opoku, Kweku, 2017).

Existen diferentes métodos de descontaminación de aflatoxinas, biológicos, físicos y químicos, entre ellos el uso de adsorbentes naturales tales como zeolita, bentonitas y montmorillonitas entre otros (Silva, 2014).

Por ello es que este trabajo presenta una alternativa de adsorber aflatoxina B1, la cual es a través de una arcilla modificada fisicoquímicamente con iones de aluminio esto con el fin de generar una factibilidad de adsorción a través de su estructura molecular; ya que muchos minerales arcillosos, como la montmorillonita (Mt), la sepiolita y la caolinita, han demostrado tener una alta capacidad de adsorción de micotoxinas (Zeng et al. 2013)

Capítulo 1 Antecedentes

1.1 Estado del arte

Se han realizado diversos estudios relacionados con la adsorción de aflatoxina B1 que van desde el análisis de su comportamiento hasta su análisis con relación a las arcillas y su modificación fisicoquímica; aquí se presentan algunos proyectos integradores efectuados en los últimos años, cada uno con sus respectivos aportes.

En 2017, Achaglinkame, Opoku, Kweku, Sta hicieron una revisión en la cual se resalta el riesgo de contaminación por aflatoxinas en cereales y leguminosas para reconsiderar su uso en alimentación complementaria; factores como temperatura, humedad relativa, propiedades del suelo, tipo y duración de almacenamiento, así como la composición de nutrientes de los alimentos producen en gran medida el crecimiento de hongos y la producción de aflatoxinas en cereales y legumbres. El consumo de tales ingredientes alimentarios contaminados podría exponer a muchos bebés y niños a un crecimiento y desarrollo deficiente. No obstante, la toxina, aunque aparentemente inevitable, se puede minimizar a través de la creación de conciencia, educación, buenas prácticas agrícolas y almacenamiento adecuado.

Por lo anterior se han buscado numerosos métodos de desintoxicación, para encontrar alguno que sea capaz de cumplir con la eficacia, la seguridad y la protección de los elementos nutricionales, así como los costos necesarios para un proceso de desintoxicación altamente efectivo (Pivai et al., 1995).

En 2016 se comprobó que la descontaminación de Aflatoxina B₁ (AfB₁) con células inmovilizadas, y una base de HSCAS (aluminosilicatos de sodio y calcio hidratado) inducidas por irradiación UV disminuye mucho la actividad mutagénica de la AfB₁ (Sun et al., 2016).

Ese mismo año se publicó un experimento en vivo donde a cierto grupo de pollos de engorda se les aplicaron alimentos con diversas porciones (1.0%, 1.5%, 2.0%) de bentonita (Askangel) producida localmente en región occidental de Georgia, donde se pudo observar que a tasa de adsorción de aflatoxina fue 79%, esto utilizando el método ELIZA (Chkuaseli et al., 2016).

Estos experimentos en vivo fueron aplicados debido a resultados positivos encontrados previamente en análisis in vitro donde se demuestra que algunas bentonitas son eficaces como agentes secuestrantes de las aflatoxinas; esto aplicando una caracterización que comprende análisis químico, escaneo microscopía electrónica (SEM), difracción de rayos X, porosimetría de intrusión Hg, capacidad de hinchamiento, etc. (Magnoli et al. 2008).

Obteniendo que los principales factores que afectan la adsorción de aflatoxina parecen estar relacionados con la sustitución isomórfica de la montmorillonita e interacciones generadas por la carga superficial de las muestras. Ni el tamaño medio de poro ni el porcentaje de cuarzo tienen ningún efecto sobre la adsorción de aflatoxina (Magnoli et al., 2008).

Por otro lado, Dixon, Kannewischer, Tenorio y Barrientos (2007) comentan que el tamaño de partícula determinado por difracción láser es una medida útil y conveniente para el potencial de esmectita, el cual representa el 65% de la variabilidad en la adsorción de aflatoxinas en la mayoría de las arcillas.

Además hay investigaciones posteriores que se han ido realizando sobre la modificación fisicoquímica de las arcillas esto con el fin de mejorar la capacidad de adsorción de la mismas; una investigación semejante en 2013 implemento la síntesis de montmorillonita(Mt) –hierro- aluminio para la adsorción de AFB₁, se

prepararon policationes y se usaron para modificar Mt y establecer un comparativo de su poder adsorbente así como su interacción con el pH; los resultados obtenidos mostraron la gran diferencia de capacidad de adsorción radica principalmente en su microestructura y su composición química (Zeng et al., 2013).

En (2016) Barrientos, Liu, Phillips y Deng, publicaron un experimento donde en seis muestras de esmectita con diferentes densidades de carga de capa y composiciones de cationes octaédricos fueron evaluadas; unas con origen de carga octaédrica y otras con origen de carga tetraédrica. Estas esmectitas se saturaron con Na, Ca y Ba; Se observó un efecto similar de los cationes intercambiables en todas las esmectitas, pero diferencias significativas en la capacidad de adsorción de aflatoxina. Las esmectitas cargadas octaédricamente mostraron una mayor adsorción de aflatoxina que las esmectitas con carga tetraédrica.

En un estudio posterior hecho en 2017 se modificó la arcilla de bentonita mediante la incorporación de iones de zinc (Zn) para aumentar la capacidad de adsorción y reducir consecuentemente la toxicidad de las aflatoxinas. Además, la importancia de las condiciones de intercalación de Zn, como la concentración, la temperatura y el tiempo de reacción. Los resultados mostraron que el tratamiento con Zn de la bentonita aumentó la adsorción de aflatoxina B₁ (AFB₁) y que la temperatura y el tiempo no tuvieron un efecto significativo en la capacidad de unión (Nones et al., 2017).

En base a estos antecedentes experimentales se han incorporado muchos otros a una posible implementación en el área químico-farmacéutica donde se han realizado investigaciones sobre los efectos de estos minerales arcillosos sobre las células madre y células protectoras al organismo tal es el caso que Nones, Nones, Gracher, Cabral y Trentin (2015) mencionan que el alto contenido de SiO₂, Fe₂O₃ y K₂O, aumentó la viabilidad de las células NC previamente tratadas con AFB₁ sin afectar la diferenciación celular. Esta evidencia sugiere que AFB₁ interactuó con los espacios de la capa intermedia de la bentonita, lo que podría haber contribuido a

una reducción en la disponibilidad de AFB1 y, en consecuencia, una reducción en daños. Este estudio contribuye a una mejor comprensión de los efectos de los minerales de arcilla y puede ayudar a crear nuevos fármacos para reducir o eliminar los efectos tóxicos de AFB1.

1.2 Planteamiento del problema

Las micotoxinas son un problema real que afecta silenciosamente la salud pública en países en vía de desarrollo. La investigación en este tema es fundamental para mitigar su impacto, dado los efectos mutagénicos y carcinogénicos causados por estas sustancias tóxicas (Serrano y Cardona ,2015).

Las micotoxinas afectan principalmente a los granos usados como alimento animal y de ahí pasa a la carne, leche y huevos, el consumo de tales productos tiene consecuencias directas para los humanos, ya que son la base de su dieta. Las micotoxinas contaminan principalmente cereales, los cuales se infestan con el hongo antes y durante la cosecha o el almacenamiento. Actualmente, más de 400 toxinas producidas por 350 especies de hongos han sido aisladas y caracterizadas; de éstas, las investigaciones se han enfocado en aquellas que causan daños significativos a humanos y animales (Santillán, Rodríguez, Fernández, Vázquez, Montero y Benítez, 2017).

Una de las más importantes micotoxinas se conoce como aflatoxina B1. El producto de biotransformación de la AFB1 es una molécula altamente reactiva conocida como AFB1-8,9-epóxido (AFBO). Este producto es capaz de reaccionar con proteínas y ADN produciendo efectos citotóxicos y mutagénicos. Esto se ve representado en problemas en la salud animal y humana (Murcia, 2010).

1.3 Justificación

En la actualidad existe un alto índice de contaminación por micotoxinas en alimentos de origen agrícola, generando diversos problemas en la inocuidad de estos, así mismo en la manufactura de la industria alimenticia, provocando problemas en la salud de los consumidores que podrían ser tanto animales de ganado así como el ser humano mismo; como se menciona en el diario de Juárez en el informe titulado "Garnachas y botanas inducen el cáncer, publicado el 29 de junio de 2018; en el la investigadora del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) menciona que casos de personas con tumores de hígado, 65% tenían aflatoxinas; de colon, 54%; de recto, 57%; de páncreas, 46%; de mama, 40%, y de cérvix, 60%: "En éste último existe 6.1% mayor riesgo de padecerlo [cáncer], si están presentes los aductos de aflatoxina-ADN"; por ello se busca minimizar el impacto de este contaminante con una alternativa económica y eficaz. Para ello se utilizará materiales de origen natural como son las esmécticas y se probará el efecto de la misma modificándola con aluminio, esto con la finalidad de mejorar la capacidad de adsorción y eficientar el proceso de descontaminación.

1.4 Objetivo general

Evaluación de esmécticas saturadas con aluminio como potenciales sorbentes de aflatoxina B1

1.4.1 Objetivo particulares

- Caracterización fisicoquímica de las esmecticas como adsorbentes de aflatoxina B1
- Caracterización de las esmecticas sin saturar y saturadas con aluminio como adsorbentes de aflatoxina B1

1.6 Hipótesis

La esmectita saturada de aluminio (Al) influye en la sorción de aflatoxina.

1.7 Marco teórico

1.7.1 Micotoxinas

El termino micotoxina es derivado de la palabra griega “*Mykes*” la cual significa hongo y de la palabra latina “*toxicum*” que significa tóxico o veneno. Las micotoxinas son metabolitos secundarios de bajo peso molecular producidos por los filamentos de los hongos; estos metabolitos constituyen un conjunto toxígeno y químicamente

heterogéneo en el que se agrupan sólo los miembros que pueden causar enfermedad y hasta la muerte en los seres humanos y otros vertebrados. El término micotoxinas fue acuñado en 1962 a raíz de una crisis veterinaria inusual, durante los cuales 100.000 pavos aproximadamente murieron cerca de Londres, Inglaterra (Bennett y Klich, 2003).

Las micotoxinas tienen estructuras químicas muy diversas, sin embargo, la clasificación de micotoxinas es la siguiente: aflatoxinas, citrinina, alcaloides ergóticos, fumonisinas, ocratoxinas, patulina y zearalenona. Siendo la aflatoxina la más tóxica y que se encuentra con frecuencia en muchos de los alimentos agrícolas (Bennett y Klich, 2003). En el cuadro 1 se muestra un resumen de la clasificación de las micotoxinas, los productos afectados y sus problemas.

1.7.2 Factores que promueven micotoxinas

Existen varios factores que intervienen en la colonización de hongos o en la producción de micotoxinas, estos factores se categorizan en físicos, químicos y biológicos (Zain, 2011):

- Los factores físicos incluyen las condiciones ambientales, como temperatura, humedad relativa y plagas.
- Los factores químicos incluyen el uso de fungicidas o fertilizantes.
- Los factores biológicos están basados en interacciones entre la colonización de especies fúngicas toxigenicas y el sustrato, se subcategorizan en factores intrínsecos incluyendo especies fúngicas, especificidad cepa, la variación de la cepa e inestabilidad de propiedades toxigenicas

Cuadro 1. Clasificación de las micotoxinas, productos afectados y los problemas que genera a la salud (elaboración propia a partir de las referencias de Méndez y Moreno, 2009; y de Zain, 2011).

Tipo de micotoxina	Productos afectados	Problemas
Aflatoxina	Cacahuete, pistaches, nueces, maíz, chiles, frijol, avena, arroz, trigo y sorgo, en menor medida almendras, pasas, higos, granos de cacao, linaza, aceitunas, semillas de calabaza y girasol y el ajonjolí.	Responsable de la enfermedad de Kwashiorkor y el síndrome de Reye.
Ocratoxina	Granos de cocoa, granos de café, harina de yuca, cereales, pescado, cacahuates, frutas secas, vino, huevos y leche	Afectan el sistema nervioso y pueden causar cáncer de riñón.
Patulina	Productos de manzana, en plátanos, pera, piña y durazno además de que es inestable en granos, carnes ahumadas y queso	Tiene propiedades potencialmente cancerígenas
Zearalenona	Granos como maíz, cebada, trigo, arroz, cerveza, frijoles, plátanos y soya.	Clasificada con potencialmente peligrosa para humanos
Tricotencenos	Maíz, trigo, cebada, avena, arroz, soya, también se ha detectado su presencia en sorgo, plátanos, papas, mangos y semillas de mostaza y girasol	A bajos niveles pero a exposiciones crónicas pueden causar inmunosupresión o inmunostimulación en animales y humanos; de ahí su uso como agentes potenciales de guerra biológica, sus síntomas clínicos incluyen vómito, diarrea, hemorragia, dificultad para respirar, dolor de pecho, ampollas, dolor de cabeza, fatiga, mareos; y por último la muerte.

1.7.3 Problema de las micotoxinas

Las micotoxinas al ser agentes patógenos oportunistas pueden causar enfermedades al aprovecharse de sistemas debilitados o inmunodeprimidos, a

estas enfermedades se les conoce como micotoxicosis (Bullerman, 2003). La micotoxicosis aguda tiene un comienzo rápido y una respuesta toxica, mientras la micotoxicosis crónica se caracteriza por una exposición a bajas dosis en un periodo de tiempo prolongado resultando en cáncer u otros efectos irreversibles. La mayoría de las micotoxicosis, se da como resultado del consumo de alimentos contaminados.

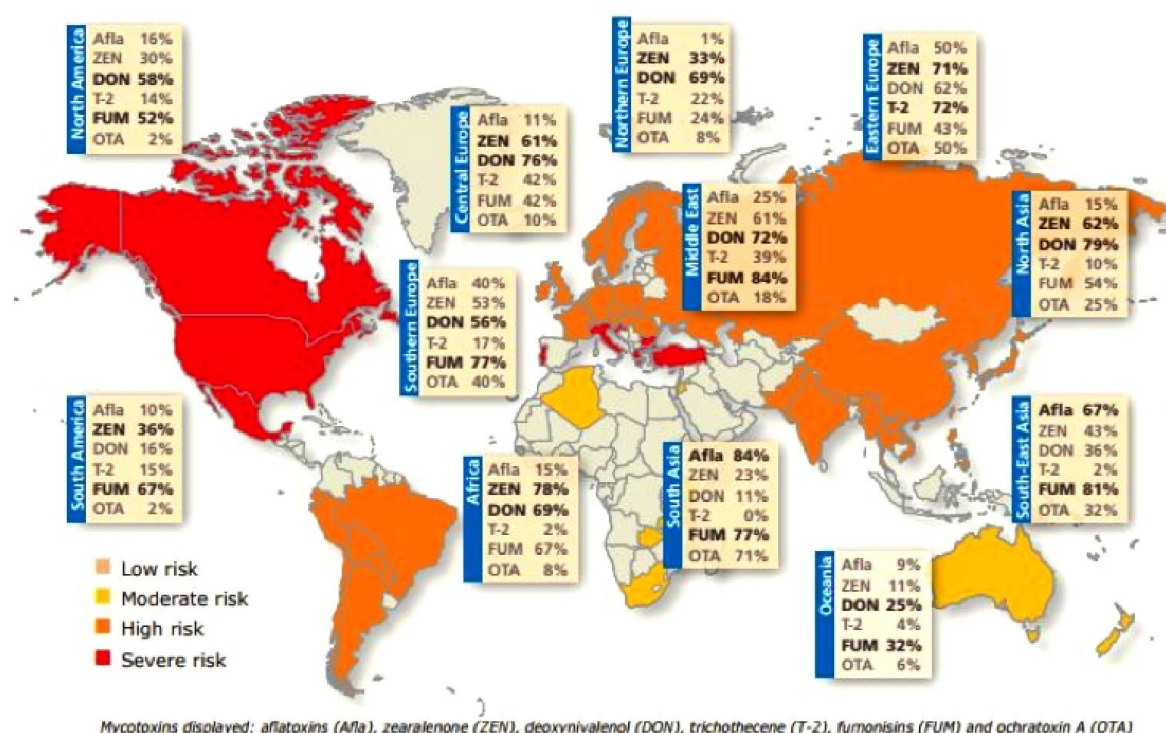


Figura1. Niveles de riesgo por micotoxinas en el mundo 2017 (Estudio desarrollado y realizado por el laboratorio de investigación de micotoxinas independiente más importante del mundo en el Departamento de Agrobiotecnología (IFA-Tulln) de la Universidad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida de Viena y se ofrece a través de la cooperación con BIOMIN. <https://info.biomin.net/acton/fs/blocks/showLandingPage/a/14109/p/p004e/t/page/fm/17>.

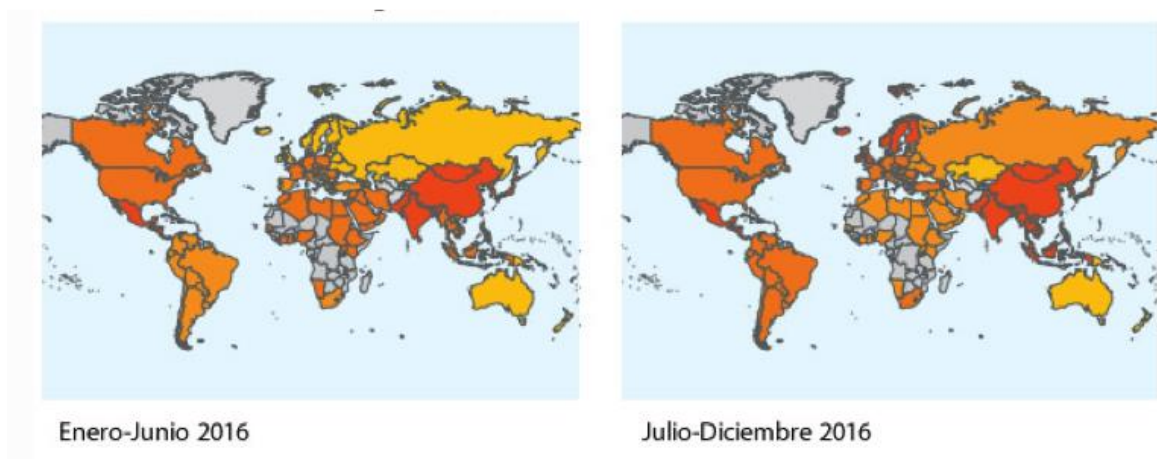
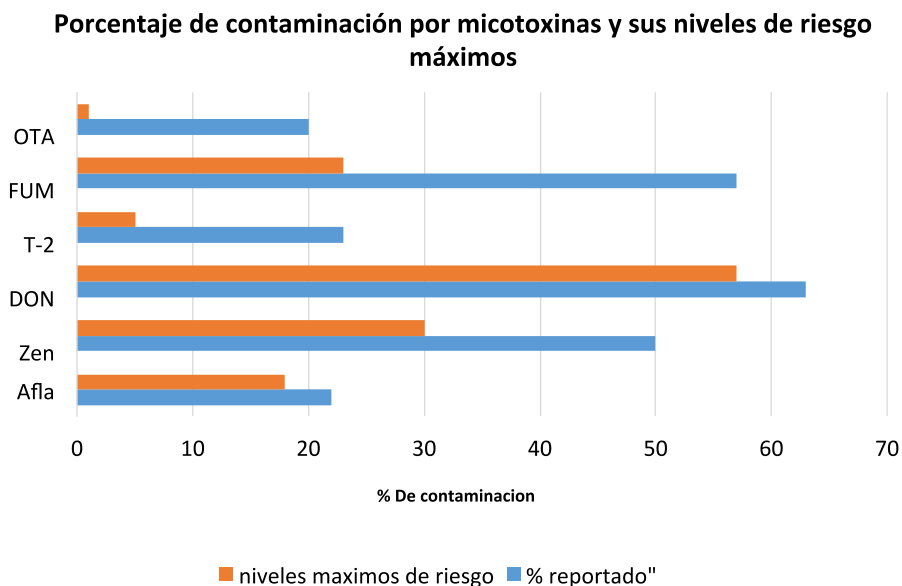


Figura 2. Cambios de nivel de riesgo en el 2016 (Estudio desarrollado y realizado por el laboratorio de investigación de micotoxinas independiente más importante del mundo en el Departamento de Agrobiotecnología (IFA-Tulln) de la Universidad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida de Viena y se ofrece a través de la cooperación con BIOMIN.) <https://higieneambiental.com/higiene-alimentaria/mapa-global-de-riesgo-de-micotoxinas-en-granos-y-piensos-2017>

1.7.4 Legislación

Las micotoxinas están presentes en los alimentos como contaminantes naturales, la exposición humana no puede evitarse completamente y debe tolerarse la exposición de la población a algún nivel de micotoxinas, para regular los límites permisibles de micotoxinas durante las últimas décadas se han fijado reglamentos en muchos países y se prosiguen elaborando nuevas reglamentaciones. Como se puede observar en la figura 3 donde los porcentajes registrados por contaminación de micotoxinas superan al límite permisible en la actualidad.

En América Latina, por ejemplo, donde los principales cultivos agrícolas son maíz, trigo, café, algodón, soja, cebada, girasol, maníes y nueces son muy susceptibles a la contaminación con hongos y proclives a producir micotoxinas. Se sabe que 19 países, que representan el 91 por ciento de la población de la región, cuentan con reglamentaciones específicas sobre micotoxinas (FAO, 2003).



*Figura 3. Prevalencia mundial de micotoxinas (OTA(ocratoxinas), FUM(fumonisinias), T-2(tricotencenos), DON(deoxynivalenol), Zen(zearalenonas), Afla(aflatoxinas)) y niveles máximos de riesgo de acuerdo al estudio desarrollado y realizado en 2017 por el laboratorio de investigación de micotoxinas independiente más importante del mundo en el Departamento de Agrobiotecnología (IFA-Tulln) de la Universidad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida de Viena y se ofrece a través de la cooperación con BIOMIN.) **fuentes***

Los reglamentos para las aflatoxinas son con frecuencia detallados y específicos para los alimentos, para los productos lácteos y para las raciones animales. En algunos países se especifican los niveles de tolerancia diferentes para los alimentos y para las raciones individuales, en tanto que otros han fijado un solo nivel tolerable. En México se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias. Siendo el límite máximo para cereales destinados al consumo humano: 20 µg/kg, en comparación con la norma Europea

1.7.5 Aflatoxinas

Las aflatoxinas son un grupo de aproximadamente 20 compuestos, producidos por especies del género *Aspergillus*. El término “aflatoxina” fue acuñado en Inglaterra en la década de 1960, cuando miles de guajolotes que fueron alimentados con harina de cacahuete contaminada con la micotoxina murieron a causa de una enfermedad desconocida que se denominó enfermedad “X” de los guajolotes. Posteriormente se confirmó la presencia de una toxina del hongo *Aspergillus flavus* en el extracto del medio de crecimiento, la cual mostró toxicidad en ratas y patos. Las aflatoxinas contaminan cultivos básicos para la alimentación, incluyendo el maíz, el cacahuete y la nuez, causando trastornos agudos y crónicos sobre la población humana. La aflatoxina B1 es la más tóxica de todas (Santillán y Rodríguez et al., 2017).

1.7.6 Aflatoxina B1

La aflatoxina es una toxina hepatotóxica, mutagénica y carcinogénica (Riley y Norred, 1999). Existen cuatro aflatoxinas principales que se denominan B1, B2, G1, y G2 en función de su fluorescencia a la luz ultravioleta y la movilidad cromatográfica, siendo la aflatoxina B1 el carcinógeno natural más potente hasta ahora conocido y es por lo general producida por cepas toxigénicas. En particular *Aspergillus flavus*, que es un contaminante común en la agricultura y *Aspergillus parasiticus* (Bennett y Klich, 2003).

Las enfermedades causadas por el consumo de aflatoxinas se llaman aflatoxicosis. Los resultados de aflatoxicosis agudas llegan a la muerte; la aflatoxicosis crónica da como resultado el cáncer, la supresión inmune, y otras condiciones patológicas (Bennet y Klich, 2003). Debido a esto la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer ha clasificado a la aflatoxina B1 como un carcinógeno del grupo I. Los riesgos de aflatoxina B₁ en humanos es usualmente resultado de una exposición dietética crónica. El hígado es el principal órgano blanco, en aves de granja, peces, roedores y primates que consumen alimento contaminado con aflatoxina B₁. Además, la magnitud de la respuesta es influenciada por la edad,

sexo, peso, dieta, exposición a agentes infecciosos y la presencia de otras micotoxinas y sustancias farmacológicamente activas (Zain, 2011). En la figura 4 podemos apreciar la estructura química de la aflatoxina B₁.

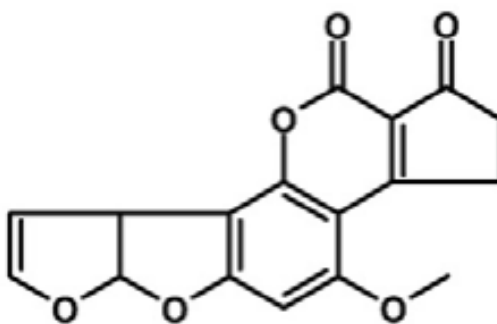


Figura 4. Estructura química de la aflatoxina B₁

1.7.7 Aflatoxinas en México

Las aflatoxinas, producidas por mohos del género *Aspergillus flavus*, no se ven, carecen de sabor y olor, son resistentes al calor (*soportan entre 260 y 320 grados centígrados sin descomponerse*) y a procesos como cocción, ultra pasteurización, nixtamalización y fermentación. En México se ha detectado la presencia aflatoxina B₁ en humanos: como mutación en el gene p53 en hepatocarcinomas de pacientes de Monterrey, Nuevo León, México, en 1996 y como aducto AFB₁-lisina en suero de pacientes del Instituto Mexicano del Seguro Social de Matamoros, Tamaulipas, México, en 2003 (Guzmán, 2007).

1.7.8 Descontaminación de micotoxinas

La detoxificación de micotoxina se refiere a los tratamientos post-cosecha que consisten en remover, destruir o reducir los efectos tóxicos. Las estrategias de detoxificación pueden ser físicas, químicas o microbiológicas que destruyen, modifican o absorben la micotoxina (Riley y Norred, 1999).

1.7.8.1 Degradación física

Las aflatoxinas son sensibles a la luz ultravioleta, sin embargo, el uso de luz ultravioleta para destruir aflatoxina es cuestionable, debido a que en algunos estudios se ha comprobado que es ineficiente. La aflatoxina es muy estable al calor, pues se observó que la aflatoxina B₁ no se degrada en cacahuates ni en aceite de maíz a una temperatura de 250 °C. Sin embargo, la aflatoxina B₁ puede ser adsorbida por bentonita, pero el tamaño de partícula y el tratamiento de calor de la bentonita afectaron su habilidad para adsorber y retener la aflatoxina (Doyle, 1982).

1.7.8.2 Degradación química

Las aflatoxinas son degradadas por soluciones acuosas de ácidos y bases fuertes. La amoniación es un efectivo y económico medio factible para reducir el contenido de aflatoxina de una gran variedad de alimentos. Los agentes oxidantes pueden destruir aflatoxina, pero pocos son aptos para usarse en alimentos. El peróxido de hidrogeno es uno de los agentes oxidantes que está permitido usarse en los procesos alimenticios (Doyle, 1982).

1.7.8.3 Degradación biológica

Una gran variedad de bacterias, levaduras y hongos son capaces de degradar o remover aflatoxina de una solución. Algunos pueden transformar la aflatoxina B₁ a aflatoxicol, éstos microorganismos son *Corynebacterium rubrum*, *Aspergillus niger*, *Trichoderma vidrie*, *Mucor griseo-cyanus*, *Absidiarepents*, *Mucorambiguus*, *Dactyliumdenroides*, *Helminthosporiumsativum*, *Mucoralternans*, *Rhizopusarrhizus*, *Rhizopusoryzae*, *Rhizopusstolonifer*, y el protozoario *Tetrahymenapyriformis* (Doyle, 1982).

Entre los métodos físicos resalta un método prometedor de agentes detoxificantes para micotoxinas en los alimentos. Estos 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, degradarlas o transformarlas en metabolitos menos tóxicos; de manera general se clasifican como agentes adsorbentes y agentes biotransformadores (Tapia *et al.*, 2010).

1.7.9 Arcillas

El significado del término “mineral arcilloso” depende de la disciplina de la que se esté tratando, aunque como denominador común podemos clasificar a éstos materiales según su tamaño de partícula, cantidad de fracción arcillosa, constitución química y propiedades específicas (Guggenheim y Martin, 1995).

Las arcillas son partículas con un tamaño definido, siendo las más pequeñas dentro de la clasificación de textura del suelo; y que son prácticamente inertes, desde el punto de vista químico, en tanto que las arcillas se comportan como coloides cargados eléctricamente (Jaramillo, 2002).

Los minerales arcillosos poseen estructura laminar, y es por ésta razón que son incluidos dentro de los denominados “filosilicatos”. Estructuralmente las arcillas se encuentran formadas por dos unidades básicas o capas; una de ellas constituida por grupos tetraédricos de Si^{+4} , cuyos iones pueden ser reemplazados por Al^{+3} , Fe^{+3} y Fe^{+2} , y otra capa formada por grupos octaédricos, principalmente de Al^{+3} . (Brindley y Brown, 1980).

Las propiedades fisicoquímicas particulares de las arcillas provienen de su reducido tamaño de partícula (menor a $2\ \mu\text{m}$), morfología laminar y la capacidad de poseer déficit de cargas, producto de las sustituciones isomórficas de cationes interlaminares débilmente ligados. Las propiedades mencionadas dan lugar a un valor elevado de área superficial y sitios activos, los que provocan que éste material posea una gran capacidad de intercambio catiónico. Las arcillas pueden clasificarse de la siguiente manera (Martínez, 2017):

- Grupo Caolinita: Se presentan en forma de hojas hexagonales pequeñas distribuidas en dos capas una de sílice y otra gibsita fuertemente enlazadas. Son producto de meteorización del feldespato proveniente de granitoides/riolitas y se

encuentra frecuentemente en suelos formados por sedimentos. La diquita y haloisita son minerales arcillosos pertenecientes a éste grupo, la diferencia entre ellas es que la diquita tiene la misma composición que la caolinita, pero diferente orden en sus láminas y la haloisita poseen láminas en forma tubular enlazadas por moléculas de agua.

- Grupo Illita: Se presenta en forma de hojas y su estructura se encuentra formada por láminas tipo 2:1, una capa tipo gibsita entre dos de sílice con los iones potasio ubicados entre las láminas. Posee un enlace entre láminas más débil que la caolinita, lo que resulta en partículas más pequeñas y delgadas. Son el resultado de la meteorización de las micas, por ende, son similares, aunque éstas poseen menos cantidad de potasio y más agua en su composición.
- Grupo Vermiculita: La estructura de este mineral de arcilla es muy similar a la estructura de la esmectita, se diferencia de ésta al poseer mayor contenido de magnesio en la estructura.

Las arcillas son los componentes más abundantes de la superficie mineral y además presentan una gran diversidad de reacciones (Carreto y Lagaly, 2007). Estas arcillas son usadas en muchos ámbitos debido a su gran capacidad de adsorción y retención de sustancias nocivas y tóxicas; que pueden beneficiar a la salud humana, por ejemplo, en trastornos gastrointestinales. Incluso la bentonita, caolinita, esmectita y montmorillonita se utilizan ya desde tiempos antiguos (Droy-Lefaix y Tateo, 2006). Actualmente se están usando las arcillas en aplicaciones tanto para la salud humana como en la industria farmacéutica y cosmética (Carreto, 2002).

- Grupo de la Esmectita: La estructura fundamental está constituida por láminas tipo 2:1, una capa octaédrica, normalmente gibsita o en algunos casos brucita; entre dos capas tetraédricas de sílice. Forma enlaces con metales como potasio, generando enlaces débiles entre las láminas. La capacidad que poseen las esmectitas de adsorber moléculas de agua, hacen que su volumen aumente considerablemente. Éste mineral arcilloso es el constituyente principal de las bentonitas y otras variedades similares, y son el resultado de la meteorización del feldespato en depósitos de cenizas volcánicas.

1.7.9.1 Arcillas como descontaminantes de Aflatoxina

Se ha sugerido que alimentos de engorde con alimentos que contengan bajas concentraciones de AFB1 puede causar hepatotoxicidad e inducir aflatoxicosis crónica. Igualmente, se ha sugerido que hay diferencia de los impactos en la salud por aflatoxinas entre diferentes razas humanas ocasionados por exposición crónica a estas toxinas (Martínez, Vargas y Gómez, 2013).

Una alternativa para prevenir la ocurrencia de aflatoxicosis y mejorar la producción de carne en pollos de engorde es el uso de aditivos, específicamente como los secuestrantes o adsorbentes de micotoxinas. Estos son usados en el organismo del animal para localizar y adsorber de manera eficiente las micotoxinas; formando complejos irreversibles, no digeribles con las micotoxinas a nivel gastrointestinal, disminuyendo su absorción, para luego ser excretados en las heces. La selección del adsorbente adicionado a alimentos contaminados con aflatoxinas puede ser capaz de secuestrar aflatoxinas durante el proceso digestivo, evitando pasar a las micotoxinas hacia el interior del animal (Reyna, Basilio, Martínez, Casaubon, 2016).

Los agentes adsorbentes son aquellos que tienen la capacidad de retener las micotoxinas, lo cual permite reducir su disponibilidad. Estos agentes se unen a las micotoxinas que se encuentran en el alimento, evitando su disociación en el tracto digestivo del animal. 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). Actualmente, se están realizando varios estudios sobre el uso de arcillas para disminuir la amenaza de la aflatoxina (Martínez et al. 2013).

De entre los agentes adsorbentes minerales se encuentran selectivos de alta afinidad como son los aluminosilicatos hidratados de sodio y calcio para enlazar aflatoxinas en alimentos. No obstante, algunos silicoaluminatos no selectivos comúnmente usados no protegen por completo y pueden aumentar la toxicidad de la aflatoxina (Riley y Norred, 1999). Arcillas como bentonita y aluminosilicatos se

usan como agentes aglutinantes y han demostrado reducir la intoxicación con aflatoxina en cerdos, vacas, aves de corral y ratas sin causar problemas digestivos cuando se mezcló la arcilla con alimento contaminado (Zain, 2010).

1.7.10 Proceso de adsorción

La IUPAC define la adsorción como el enriquecimiento, en uno o más componentes, de la región entre dos fases, conocida como interfase o superficie interfacial. El compuesto que se concentra en la superficie se denomina adsorbato, mientras que la fase en la que se produce la acumulación se denomina adsorbente. Este proceso puede tener lugar en una interfase gas-sólido o líquido-sólido (Gacia, 2014).

Las fuerzas intermoleculares implicadas en el proceso de adsorción son de la misma naturaleza que las fuerzas existentes en el seno de un líquido o sólido. En el interior de una fase, las fuerzas que mantienen unidas las diferentes partes de la misma se encuentran compensadas en todas direcciones. Este equilibrio de fuerzas se altera en la superficie del adsorbente, como consecuencia del acercamiento de las moléculas de adsorbato. Cuando el balance de fuerzas en la superficie no está compensado, aparece una fuerza atractiva neta normal a la superficie, responsable del fenómeno de adsorción. La energía de adsorción determina el tiempo que permanecen en la superficie del adsorbente las distintas especies (Garcia, 2014).

Existen factores que influyen en la adsorción de contaminantes en soluciones acuosas como pueden ser:

- Tipo de especies químicas que se desea eliminar
- Concentración del compuesto que se desea eliminar
- Presencia de otros compuestos que compilan con el contaminante
- pH
- Temperatura del sistema

Como el proceso de adsorción depende mucho de la temperatura se debe estudiar el comportamiento de adsorción en función de intervalos de temperatura

establecidos para obtener los parámetros termodinámicos (Granados, Serrano y Bonifacio, 2010).

1.7.10.1 Isotermas de adsorción

La capacidad de adsorción de un sólido está definida con base a los isotermas de adsorción en disolución. La isoterma de adsorción es la relación de dependencia a una temperatura constante, de la cantidad de adsorbato adsorbido por peso unitario de adsorbente, con respecto a la concentración de adsorbato en equilibrio (Granados et al., 2010).

Para obtener la isoterma de un determinado contaminante se realiza un experimento en el cual una solución de concentración conocida C_0 se pone en contacto con una cantidad de adsorbente, después de un tiempo de contacto se mide la concentración del sobrenadante C_e y se calcula la cantidad de contaminante adsorbido por diferencias de concentración en el equilibrio q_e , para posteriormente graficar los valores de $\log q_e$ contra $-\log C_e$. Existen diversos modelos matemáticos de

isotermas de adsorción establecidos en la literatura como: langmuir, Freundlich y Dubinin Radushkevich que explican el comportamiento de la adsorción (Granados et al., 2010).

El modelo de adsorción de Langmuir supone que la superficie es homogénea y tiene un número específico donde se puede adsorber una molécula, es decir, cuando todos los sitios están ocupados no es posible que continúe la adsorción (el sistema se satura) (Rivas, Nuñez, Longoria, et al.,2013).

Capítulo 2 Metodología

2.1 Caracterización física y química de las muestras de esmectita utilizadas

- Color del suelo (Palmer y Troeh, 1980):

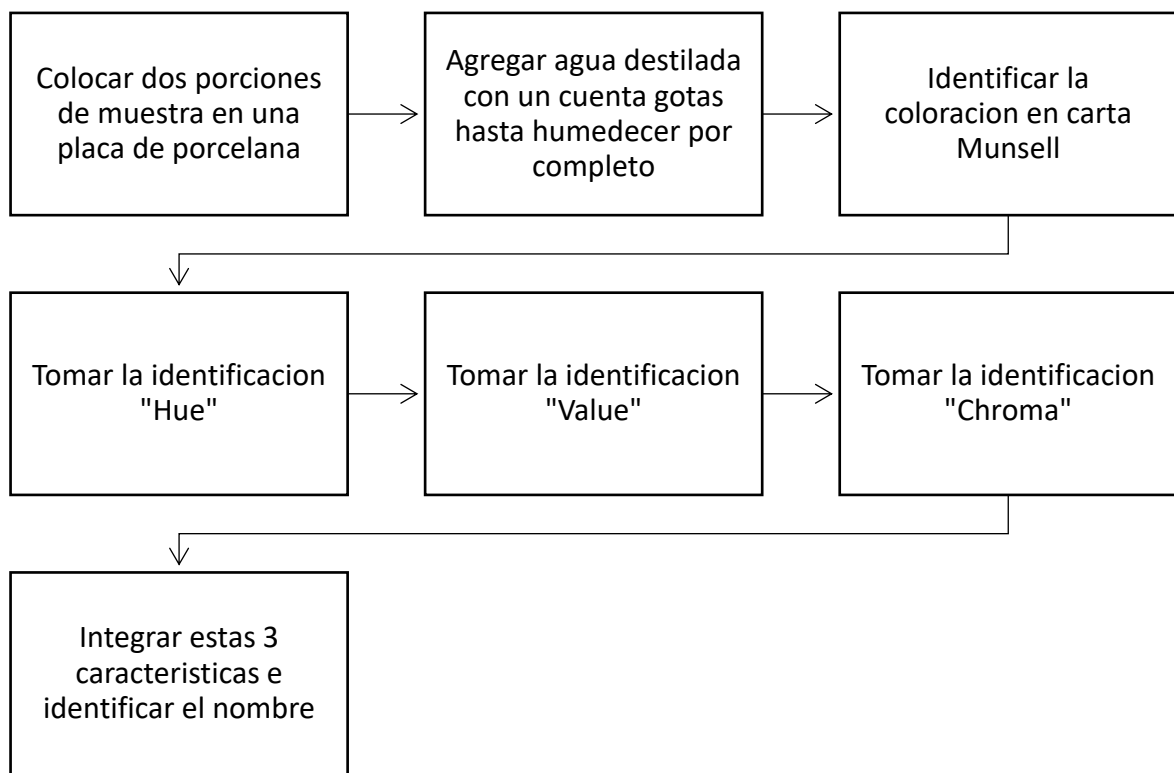


Figura 5. Diagrama de flujo para la obtención del color de suelo (Palmer y Troeh, 1980)

- **pH. Método potenciométrico utilizando una relación 1:2 (suelo: agua):**

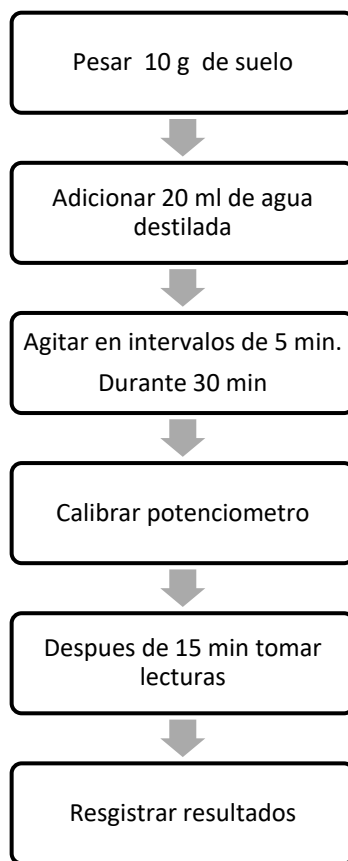
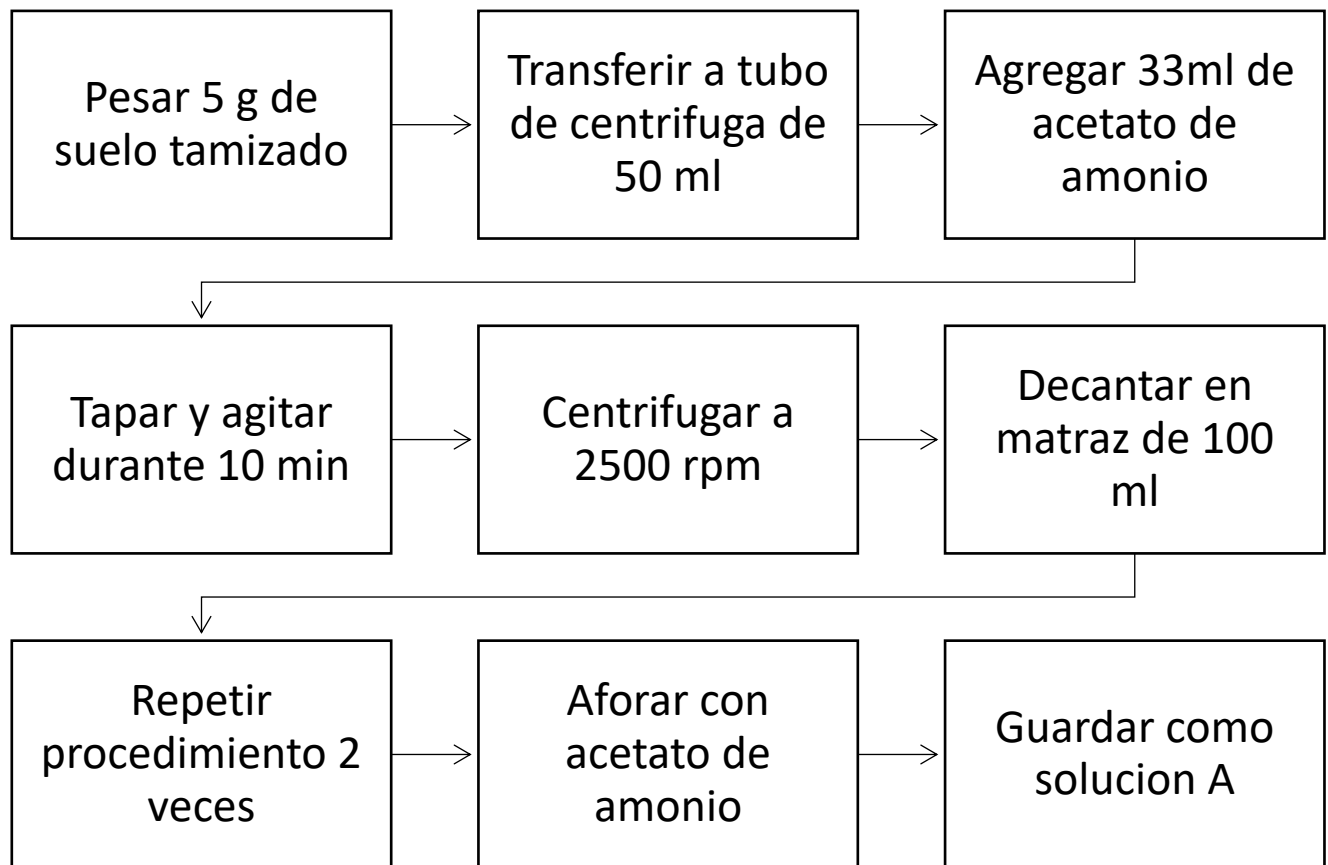


Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención del pH en esmectitas

Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)

Bases intercambiables y porcentaje de saturación en bases (%V) (Aguilar, 1987; Domínguez y Aguilera, sin fecha)

- Elaboración de solución A para determinación de capacidad de intercambio catiónico así como la obtención de bases intercambiables Ca, Na ,K y Mg.



- Figura 7. Diagrama de flujo para determinación de capacidad de intercambio catiónico, así como la obtención de bases intercambiables Ca, Na, K y Mg (Aguilar, 1987; Domínguez y Aguilera, sin fecha)

Determinación de capacidad de intercambio catiónico

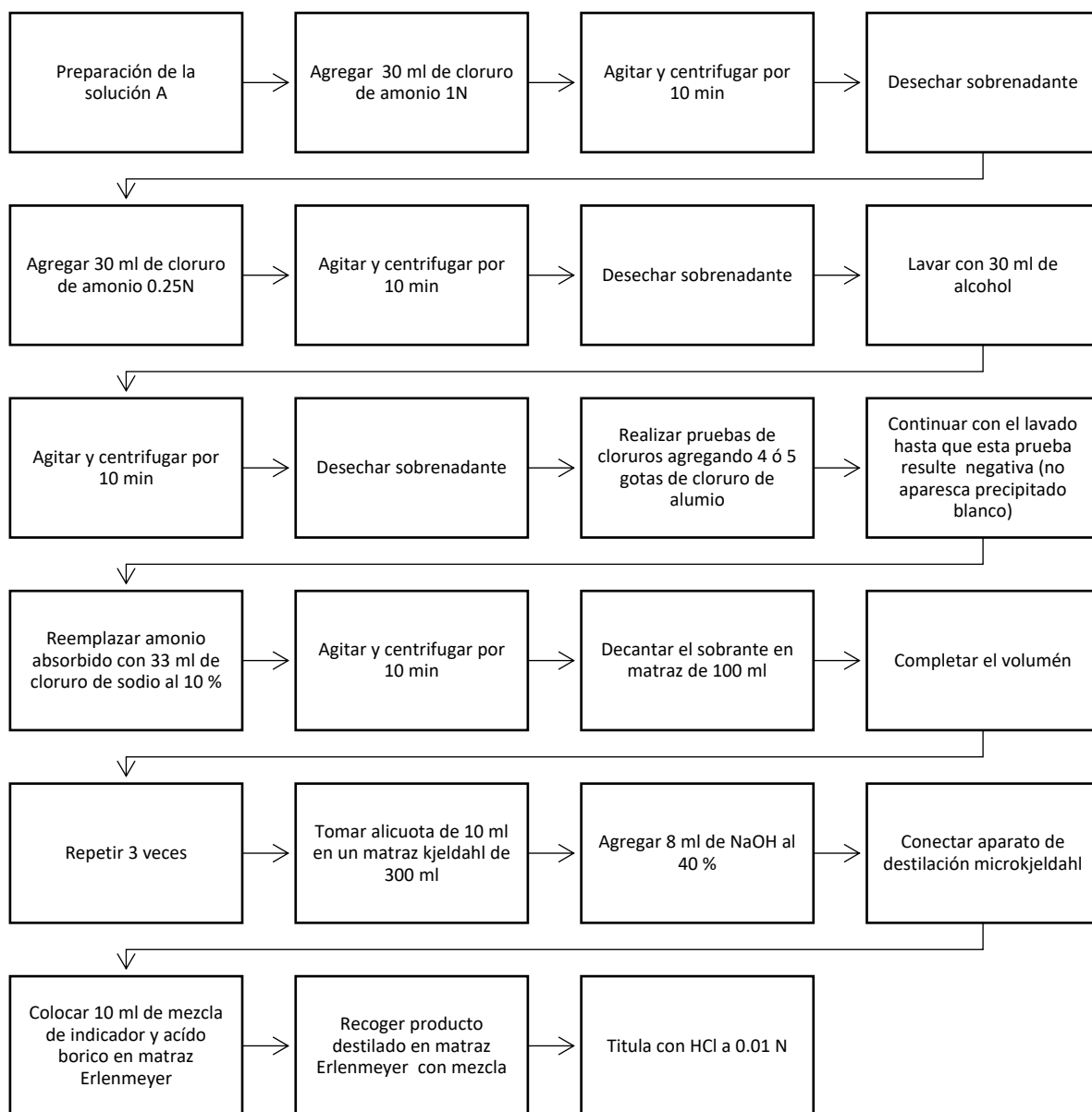


Figura 8. Diagrama de flujo Determinación de capacidad de intercambio catiónico (Aguilar, 1987; Domínguez y Aguilera, sin fecha)

Extracción de bases intercambiables (Ca y Mg)

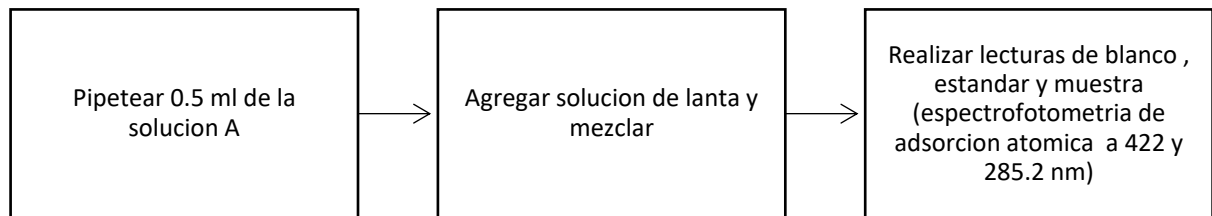


Figura 9. Diagrama de flujo para extracción de bases intercambiables (Ca y Mg) (Aguilar, 1987; Domínguez y Aguilera, sin fecha)

Extracción de bases intercambiables (K y Na)

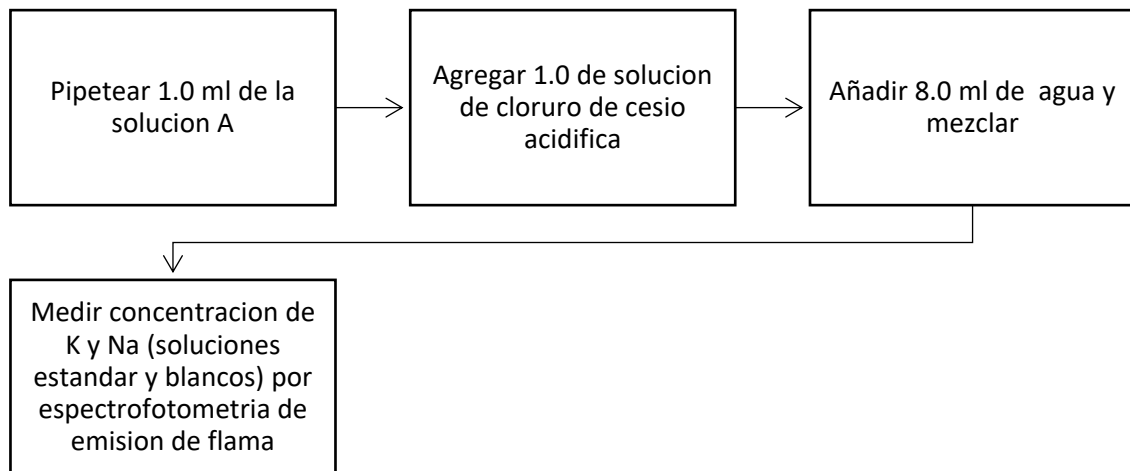
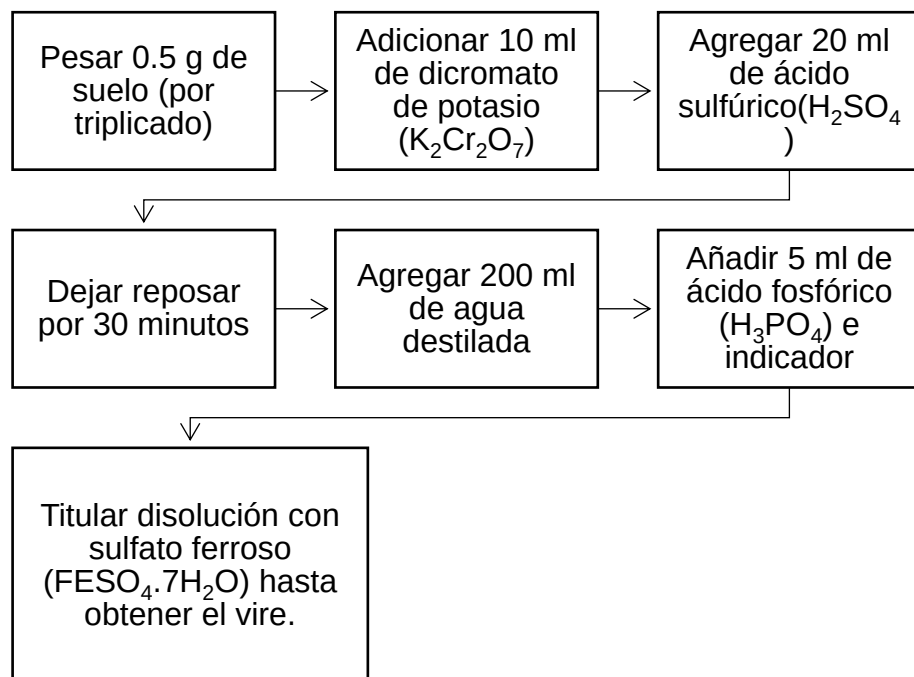


Figura 10. Diagrama de flujo para extracción de bases intercambiables (K y Na) (Aguilar, 1987; Domínguez y Aguilera, sin fecha)

Porcentaje de carbono a partir del contenido materia orgánica por el Método de Walkley y Black (León y Aguilar, 1987).



2.2 Adsorción de aflatoxina en las muestras de esmectita seleccionadas.

La determinación de la adsorción de aflatoxina B₁ en las muestras seleccionadas se realizó en la muestra en bulto (la cual contiene las tres principales fracciones de suelo) y en la fracción arcilla, con la finalidad de comparar los resultados de la adsorción total de la micotoxina, la metodología a utilizar será básicamente de acuerdo a Kannewischer et al., (2006) y Tenorio et al., (2008). En el siguiente diagrama se muestra la metodología de forma general utilizada para esta caracterización:

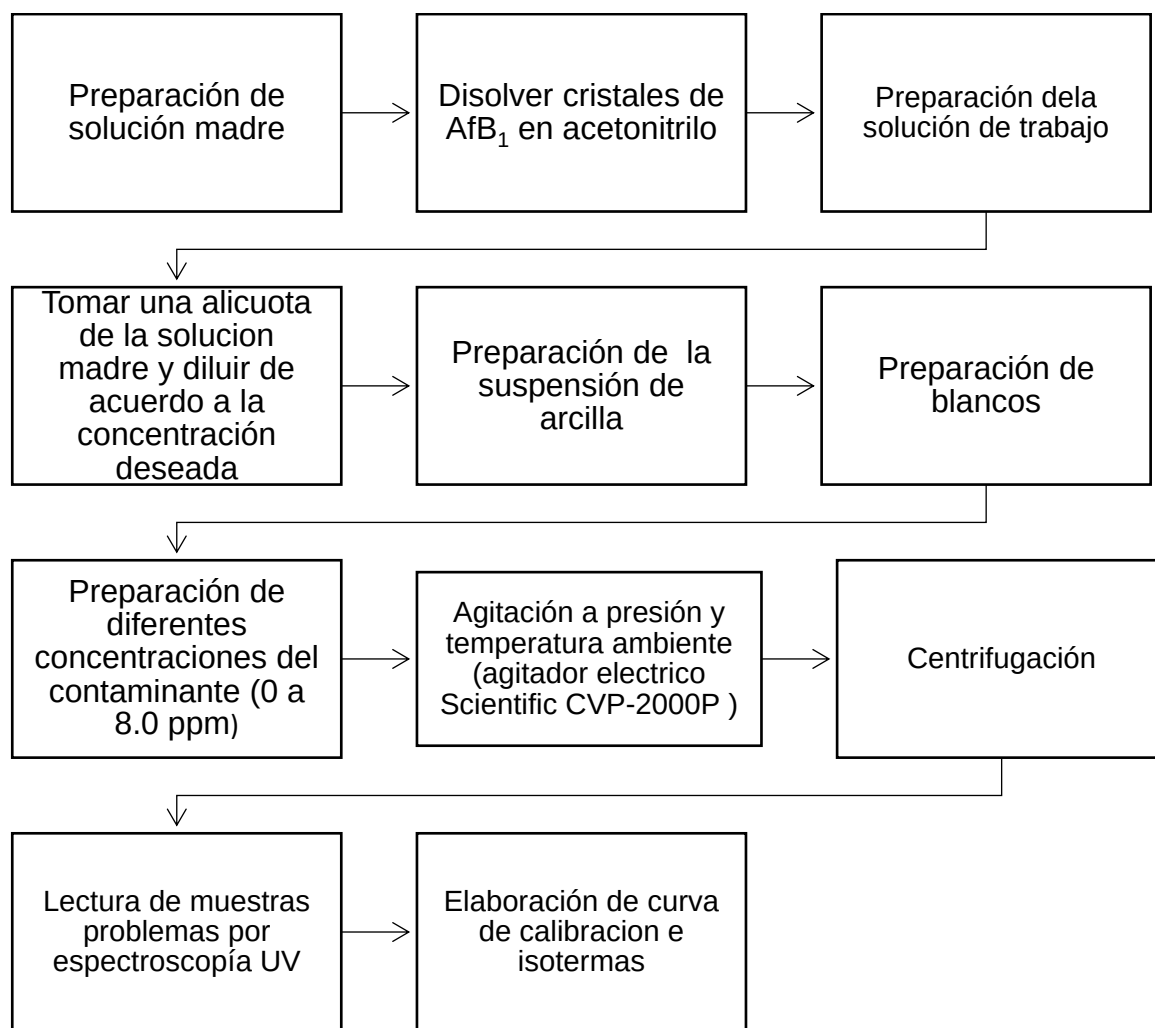


Figura 12. Diagrama de flujo para la determinación de la adsorción de aflatoxina en las muestras de esmectita, Kannewischer et al., (2006) y Tenorio et al., (2008)

2.3. Saturación de muestras con AlCl_3

Se realizaron 16 muestras de esmectita a diferentes concentraciones de aluminio (0.0, 0.5, 1.0 y 1.5 N) esto con el fin de mejorar o modificar la capacidad de adsorción de las muestras de esmectita este procedimiento se muestra el siguiente diagrama:

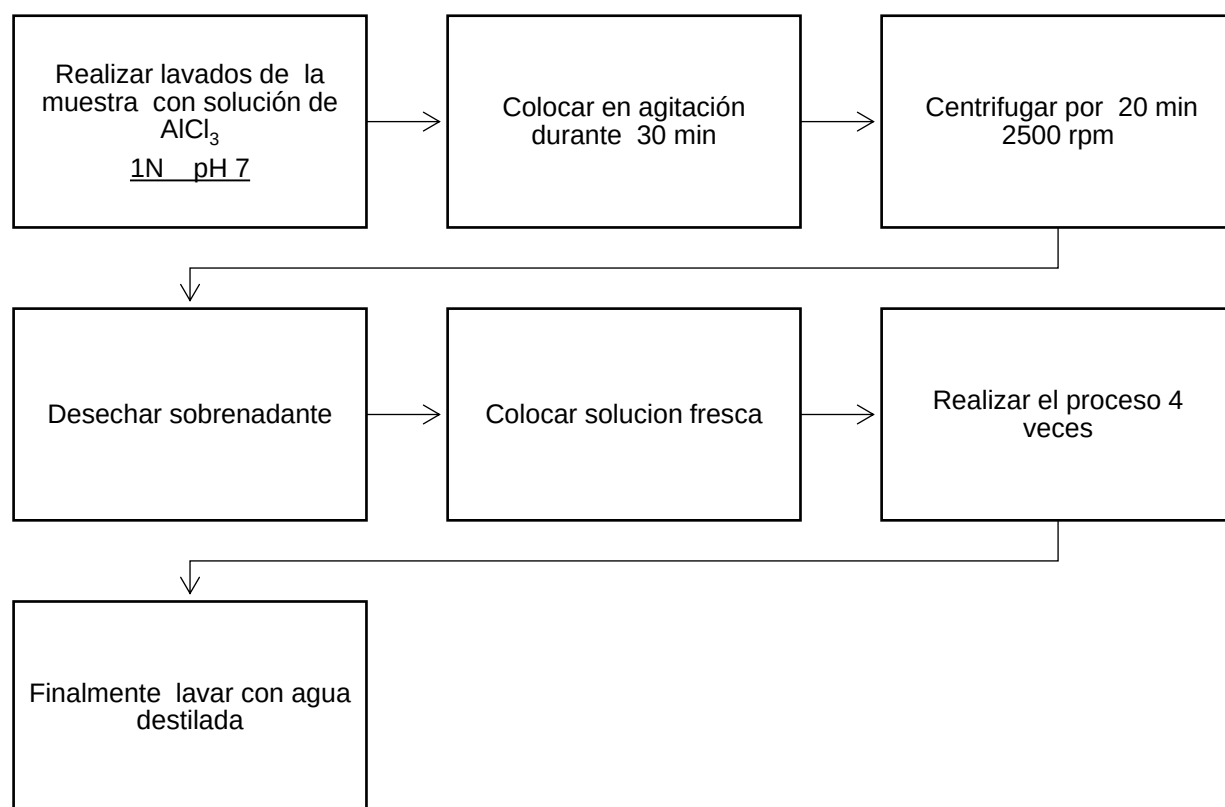


Figura 13. Diagrama de flujo para la Saturación de muestras con AlCl_3

Capítulo 3 Resultados y Discusión

Resultados de color en muestras de esmectita

Tabla 1. Identificación de colores en esmectitas

Muestra	color			
	seco		Húmedo	
17 TX	10YR 8/1	Blanco	10YR 8/3	Café pálido
8TX	5Y 8/1	Blanco	5Y 8/3	Amarillo pálido
16 MX	10YR 7/1	Gris claro	2.5Y 5/2	Café grisáceo
6 WY	5Y 8/2	Blanco	5Y 7/2	Gris claro

Resultados de porcentaje de materia orgánica es esmectitas

Tabla 2. Porcentaje de materia orgánica en esmectitas

Muestra	materia orgánica (%)
17 TX	0.05
8TX	0.01
16 MX	0.03
6 WY	0.05

Resultados de la determinación del pH en las diferentes muestras de esmectita

Tabla 3. Valores de pH en agua de las diferentes muestras de esmectita.

Muestra	pH	Clasificación
17 TX	4.7	Fuertemente ácido
8 TX	7.1	Neutro
16 MX	7.6	Medianamente alcalino
6 WY	9.6	Fuertemente alcalino

- TX: muestra de Texas
- MX: muestra de México
- WY: muestra Wyoming

Tabla 4. Clasificación del suelo de acuerdo a su valor de pH

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	<5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

De acuerdo a la literatura donde se clasifica los suelos de acuerdo a su pH como podemos observar en la tabla 1 y 2; la muestra denominada 17 TX posee un pH de clasificación fuertemente acida.

La muestra denominada 8TX presenta un valor ubicado en el rango de neutro.

Por otro lado, tenemos las muestras 16 MX Y 6 WY las cuales arrojaron un registro como muestras mediana y fuertemente acidas respectivamente.

Esta prueba es de gran ayuda para poder identificar a cada muestra en un rango determinado y como se observa tenemos variedad de pH en las muestras por lo cual nos dará la facilidad de poder tener un comparativo respecto a las cargas electrónicas de cada una de ellas, así como el conocimiento de los minerales que posiblemente contengan.

Capacidad de intercambio catiónico

Tabla 5. Resultados de la prueba capacidad de intercambio catiónico de acuerdo a (Aguilar, 1987; Domínguez y Aguilera, sin fecha).

Muestra	Capacidad de intercambio catiónico en NaOAC
17 TX	78.4
8 TX	84.1
16 MX	68.3
6 WY	83.3

Tabla 6. Clasificación de minerales en el suelo según su nivel de capacidad de intercambio catiónico

Grupo	C.I.C(Cmol(+))Kg⁻¹
Caolinitas	3 a 15
Esmectitas	80 a 150
Micas hidratadas	10 a 40
Vermiculitas	100 a 150
Cloritas	10 a 40

Se puede observar que las muestras 17 TX y 16 MX poseen características semejantes a las caolinitas, pero con valores más apegados a las esmectitas por lo cual ubicaremos estas muestras como esmectitas teniendo en cuenta que esta baja relación podría inferir en las demás pruebas fisicoquímicas. Las muestras 8 TX y 6WY se ubican perfectamente en la clasificación de las esmectitas esto lo podemos observar comprando las tablas 3 y 4.

Tabla 7. Resultados de la prueba de extracción de bases intercambiables de acuerdo a (Aguilar, 1987; Domínguez y Aguilera, sin fecha).

Muestra	Extracción de bases intercambiables con NH₄OAC (cmolc/Kg)			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
17 TX	36.8	17.4	10.7	1
8 TX	54.6	21.8	8.3	1
16 TX	20	22.6	12.1	2
6 WY	15.5	4.5	83.6	1.1

Se puede observar en la tabla 6 que existe variación en los valores de cada una de las bases de cada muestra, para la muestra 17 TX se observa una alta concentración de calcio al igual que la muestra 8 TX esto se deba quizá al origen del cual provienen las muestras. Por otro lado, la muestra 16 MX posee mayor cantidad en magnesio y por último la muestra 6 WY en sodio lo cual podría inferirnos que poseen cierta cantidad de carbonatos lo cual nos podría contribuir a una mejor

o peor adsorción en el sistema arcilloso. Además, en la clasificación las 4 muestra poseen una case alta como se puede observar en la tabla 7 en cada una de las bases por lo cual nos infiere que son grandes prospectos para un buen intercambio iónico con las muestras de aflatoxina B₁(AfB₁).

CLASE	Ca	Mg	K
Cmol(+) Kg⁻¹			
MUY BAJA	< 2.0	<0.5	< 2.0
BAJA	2 .0 a 5.0	0.5 a 1.3	0.2 a 0.3
MEDIA	5.0 a 10.0	1.3 a 3.0	0.3 a 0.6
ALTA	> 10.0	> 3.0	> 0.6

Tabla 8. Clasificación del material arcilloso según su nivel de bases intercambiables

Resultados de la capacidad de adsorción

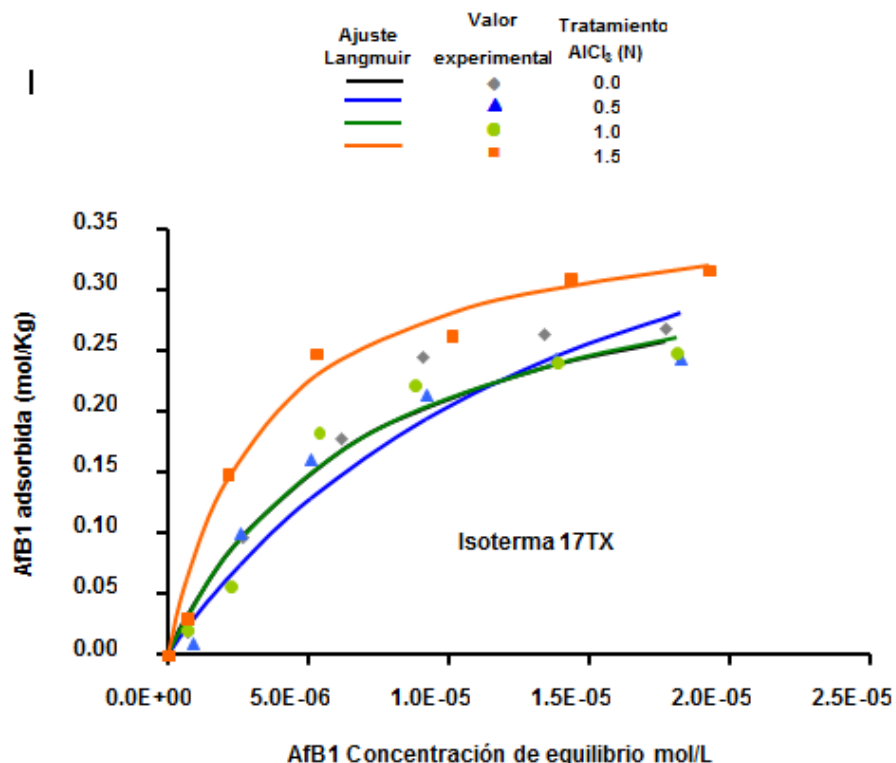


Figura 12. Isotermas de la muestra 17 TX a diferentes concentraciones de aluminio, de acuerdo a las isotermas realizados a diferentes concentraciones de cloruro de aluminio en un rango de 0 a 1.5 N, en la esmectita denominado 17TX se puede observar que en la muestra con mayor concentración (1.5 N), la adsorción de aflatoxina B₁ se ve favorecida a diferencia de las demás concentraciones por lo cual podríamos inferir que la presencia de aluminio favorece la capacidad de adsorción de la emectita ;lo cual demuestra que las conclusiones obtenidas por Zeng et al., 2013 son verídicamente correctas ya que se menciona que la modificación de montmorillonita con Al-Fe favorece en gran medida la capacidad de adsorber AfB1 en la intercapas de la molécula de montmorillonita.

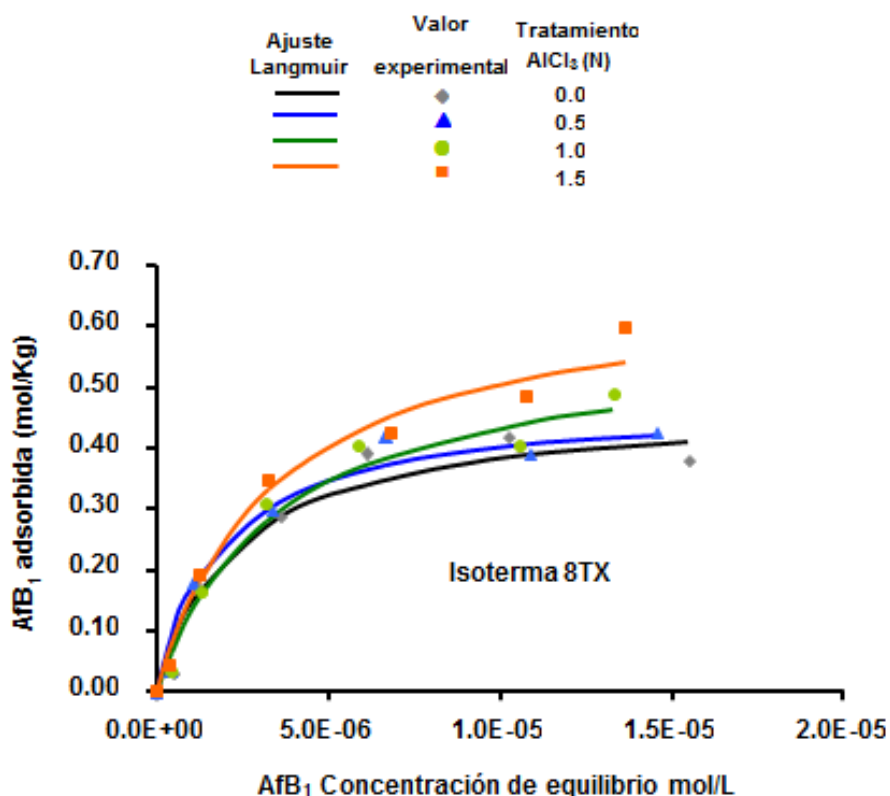


Figura 13. Isotermas de la muestra 8 TX a diferentes concentraciones de aluminio

En esta segunda representación de isotermas podemos observar que para la muestra 8 TX la concentración de AFB₁ es de 60 mol /Kg es decir el doble de concentración en comparación a la primera muestra denominada 17 TX la cual posee una concentración adsorbida de AFB₁ de 30 mol/Kg por lo que se puede inferir que el valor del pH se ve involucrado en el nivel de adsorción de AFB₁; es decir la cargas electrónicas de H⁺ y OH⁻ se ven altamente comprometidas con la actividad adsorbente en las intercapas de estos filosilicatos.

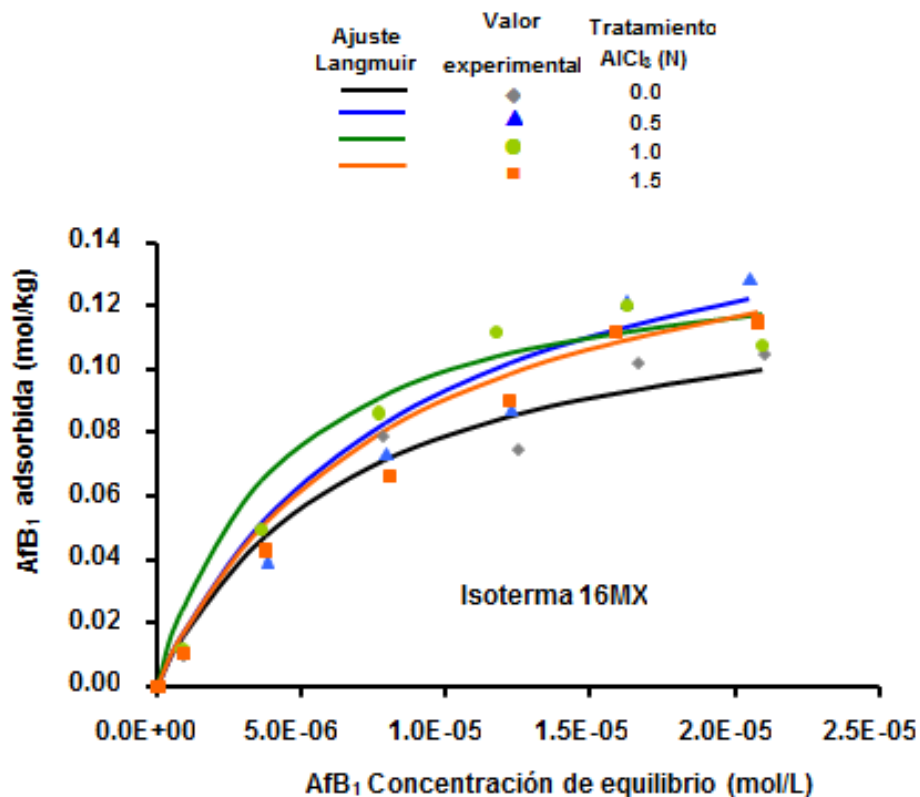


Figura 14. Isotermas de la muestra 16 MX a diferentes concentraciones de aluminio

En la figura 14 podemos observar que de acuerdo a las isotermas la concentración de AFB₁ adsorbida ha disminuido teniendo así una controversia sobre la influencia del pH sobre la capacidad de adsorción de la muestra sin embargo también se observa que las isotermas son muy parecidas entre si y que el pico más alto de adsorción lo tiene la isoterma de la muestra con menor concentración de aluminio lo cual pudiera inferirnos que las muestras entre más alcalinas tienden a reducir su capacidad adsorbente pero aprovechan mejor la concentración de aluminio proporcionada,

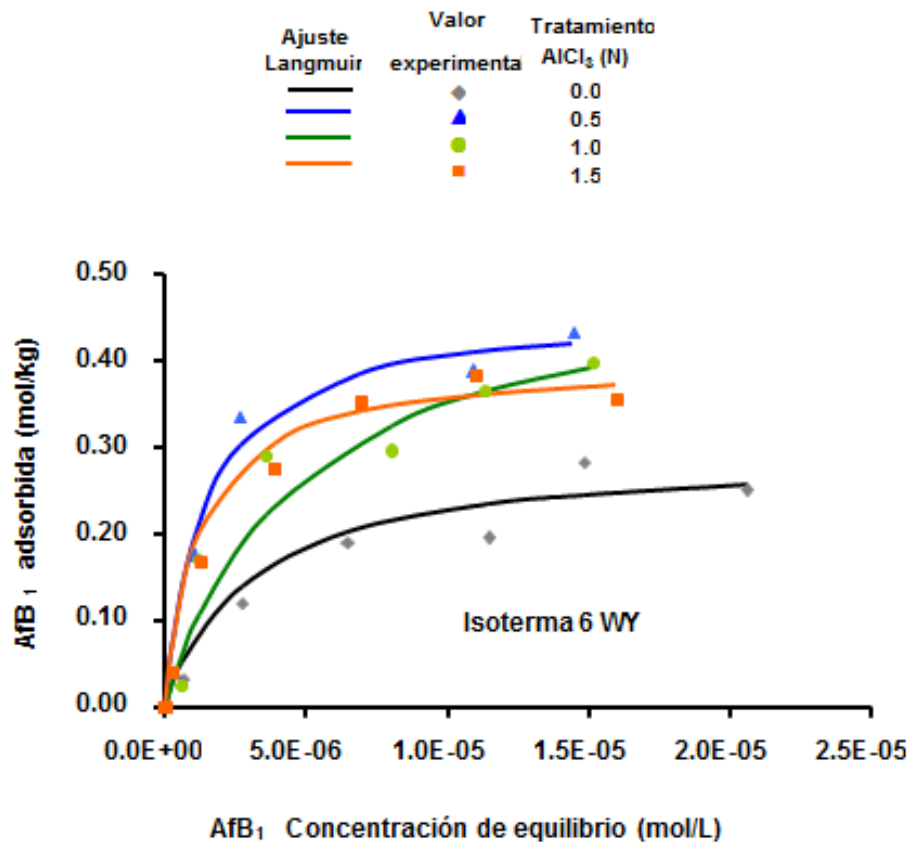


Figura 15. Isotermas de la muestra 16 WY a diferentes concentraciones de aluminio

De acuerdo a las isotermas representados en la figura 15 se puede observar que sucede lo mismo que en la muestra 16 MX, la isoterma de la muestra con menor concentración de aluminio es aquella que alcanza una mayor concentración de AFB₁ adsorbida por lo cual en base a los resultados de pH y capacidad de intercambio catiónico podemos inferir que estas dos propiedades fisicoquímicas influyen directamente en la capacidad de adsorción de AFB₁.

Conclusiones

Las muestras evaluadas poseen una variedad de pH lo cual ayuda a tener una mejor perspectiva de la influencia del pH sobre la capacidad de adsorción de las mismas.

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico este fue de gran ayuda para poder inferir que el valor de esta variable nos proporciona una mejor relación entre el tipo de esméctica, su carga y minerales que posee con la capacidad de adsorción de AfB₁

Los valores de adsorción de las 4 muestras con sus diferentes concentraciones de aluminio fueron bastante buenas por lo cual la hipótesis podría afirmarse ya que el aluminio en buena parte ayuda a la capacidad de adsorción de AfB₁.

Referencias

1. ACHANLINKAME, M.A., OPOKU, N. Y AMAGLOH, F.K. (2017). Aflatoxin contamination in cereals and legumes to reconsider usage as complementary food ingredients for Ghanaian infants: A review. *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*, 10, 1 – 7.
2. BARRIENTOS VELÁZQUEZ, A.L., ARTEAGA, S. BORIS DIXON, J. Y DENG. J. (2016). The effects of pH, pepsin, exchange cation, and vitamins on aflatoxin adsorption on smectite in simulated gastric fluids. *Applied Clay Science*, 120, 17 – 23.
3. BARRIENTOS VELÁZQUEZ, A.L., MARROQUIN CARDONA, A., LIU, L., PHILLIPS, T. Y DENG, Y. (2016). Influence of layer charge origin and layer charge density of smectites on their aflatoxin adsorption. *Applied Clay Science*, 132 – 133, 281 – 289.
4. BENNETT, J.W; KLICH, M. 2003. Mycotoxins. *Clinical Microbiology* 3,16:497–516. doi: 10.1128/CMR
5. BRINDLEY G. W., BROWN G. (1980). Crystal Structures of Minerals and their X-Ray Identification. Mineralogical Society. Monograph No. 5. Mineralogical Society and The Royal Society.
6. BULLERMAN, L. B. Mycotoxins. Elsevier Science Ltd. University of Nebraska-Lincoln. 2003. (4080-4089).
7. CARRETERO, M. I. (2002). Clay minerals and their beneficial effects upon human health. A review. *Clay Science* 21, 155-163.
8. CARRETERO, M. I; LAGALY, G. 2007. Clays and health: An introduction. *Clay Science* 36, 1-3. doi: 10.1016/j.clay.2006.09.001
9. CHKUASELI, A., KHUTSISHVILI-MAISURADZE, M., CHAGELISHVILI, A., NATSVALADZE, K., LASHKARASHVILI, T., CHAGELISHVILI, G. Y MAISURADZE N. (2016). Application of new mycotoxin adsorbent-bentonite clay “Askangel” in poultry feed. *Annals of Agrarian Science*, 14, 295 – 298.

10. D; PEÑA CABRIALES, J.J. (2005). Regulatory considerations of aflatoxin contamination of food in México. *Revista latinoamericana de microbiología*, 47, 160-164.
11. DAKÓVIC, A., MATIJASEVIC, S., ROTTINGHAUS, G.E., LEDOUX, D.R., BUTKERAITIS, P. Y SEKULIC, Z. (2008). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 66, 20–25.
12. DENG, Y. Y SZCZERBA, M. (2011). *Computational evaluation of bonding between aflatoxin B1 and smectite*. *Applied Clay Science*, 54, 26 –33.
13. DENG, Y., BARRIENTOS VELÁZQUEZ, A.L., BILLES, F. Y DIXON, J.B. (2010). Bonding mechanisms between aflatoxin B1 and smectite. *Applied Clay Science*, 50, 92 - 98.
14. DIXON, J.B., KANNEWISCHER, I., TENORIO ARVIDE, M.G. Y BARRIENTOS VELÁZQUEZ, A.L. (2008). Aflatoxin sequestration in animal feeds by quality-labeled smectite clays: An introductory plan. *Applied Clay Science*, 40, 201–208.
15. DOMÍNGUEZ, R. L. Y AGUILERA, H. N. (1989). Metodología de análisis físico-químicos de suelos. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 35 p.
16. DOYLE, M. P; APPLEBAUM, R. S; BRACKETT, R. E; MARTH, E. H. 1982. Physical, chemical and biological degradation of micotoxins in foods and agricultural commodities. *Journal of Food Protection*. (964-971).
17. DROY-LEFAIX, M.T; TATEO, F. Clay and clay minerals as drugs. 2006. *Hanbook of Clay Science. Developments in Clay Science*, 1:11:743-752.
18. El Economista. México, el mayor consumidor de aves y maíz importados. <http://eleconomista.com.mx/industrias/2015/03/24/mexico-mayor-consumidor-aves-maiz-importados>.
19. FAO. 2003. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2003. Estudio FAO: Alimentación y Nutrición.

20. FENG, B., PENG, J., GUO, W., ZHANG, W., AI, G. Y WANG, H. (2018). The effect of changes in pH on the depression of talc by chitosan and the associated mechanisms. *Powder Technology*, 325:58 – 63.
21. GARCIA, N. (2014). Una nueva generación de carbones activados de altas prestaciones para aplicaciones medio ambientales. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo. España.
22. GRANADOS F., SERRANO J. Y BONIFACIO J. (2010). Síntesis y caracterización de materiales inorgánicos para ser empleados como adsorbentes de metales tóxicos y de interés nuclear. *Contribuciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares al avance de la Ciencia y la Tecnología en México*, 21:195-21
23. GRANT, P. G; PHILLIPS, T. D. (1998). Isotherma Adsorption of Aflatoxin B₁ on HSCAS Clay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 599-605.
24. GUZMÁN DE PEÑA, D. 2007. La exposición a la aflatoxina B₁ en animales de laboratorio y su significado en la salud pública. *Salud Pública de México*. 227-235.
25. JAMIL, T.S., ABBAS, H, A., NASR, R.A., EL-KADY, A. E IBRAHIM, M. (2017). Detoxification of aflatoxin B₁ using nano-sized Sc-doped SrTi_{0.7}Fe_{0.3}O₃ under visible light. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 341:127 – 135.
26. JARAMILLO, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín.
27. JAYNES, W.F., ZARTMAN, R.E. Y HUDNALL, W.H. (2007). Aflatoxin B₁ adsorption by clays from water and corn meal. *Applied Clay Science*, 36:197–205.
28. KANG, F., GE, Y., HU, X., GOIKAVI, C., GATHERU WAIGI, M., GAO, Y. Y LING, W. (2016). Understanding the sorption mechanisms of aflatoxin B₁ to kaolinite, illite, and smectite clays via a comparative computational study. *Journal of Hazardous Materials*, 320:80 – 87.

29. KANG, F., GE, Y., HU, X., GOIKAVI, C., WAIGI, M.G., GAO, Y. Y LING, W. (2016). Understanding the sorption mechanisms of aflatoxin B1 to kaolinite, illite, and smectite clays via a comparative computational study. *Journal of Hazardous Materials*, 320:80 – 87.
30. MAGNOLI, A.P., TALLONE, L., ROSA, A.R., DALCERO, A.M., CHIACCHIERA, S.M. Y TORRES SÁNCHEZ, R.M. (2008). Commercial bentonites as detoxifier of broiler feed contaminated with aflatoxin. *Applied Clay Science*, 40:63 –71.
31. MAISANABA, S., PICHARDO, S., PUERTO, M., GUTIÉRREZ-PRAENA, D., CAMEÁN, A. Y JOS, A. (2015). Toxicological evaluation of clay minerals and derived nanocomposites: A review. *Environmental Research*, 138:233 – 254.
32. MARROQUÍN-CARDONA, A., DENG, Y., GARCIA-MAZCORRO, J.F., JOHNSON, N.M., MITCHELL, N.J, TANG, L., PHILIPS, T.D. (2011). Characterization and safety of uniform particle size NovaSil clay as a potential aflatoxin enterosorbent. *Applied Clay Science*, 54:248 - 257.
33. MARTÍNEZ M.M, VARGAS DEL RÍO L.M, GÓMEZ V.M. Aflatoxinas: incidencia, impactos en la salud, control y prevención. *Biosalud*. (2013) 12(2): 89-109.
34. MARTÍNEZ STAGNARO S. Y. (2017). Evaluación sobre el uso de arcillas para la adsorción de colorantes utilizados en la industria textil. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
35. MÉNDEZ-ALBORES, A; MORENO-MARTÍNEZ, E. 2009. Las micotoxinas: contaminantes naturales de los alimentos. *Ciencia*.
36. MIRAGLIA, M; MARVIN, H.J.P; KLETER, G.A; BATTILANI, P; BRERA, C; CONI, E; CUBADDA, F; CROCI, L; DE SANTIS, B; DEKKERS, S; FILIPPI, L; HUTJES, R.W.A; NOORDAM, M.Y; PISANTE, M; PIVA, G; PRANDINI, A; TOTI, L; VAN DEN BORN, G.J; VESPERMANN, A. Climate change and food safety: An emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology* 47, 1009–1021. 2009. doi: 10.1016/j.fct.2009.02.005

37. MURCIA RODRÍGUEZ H.W. (2010). Micotoxinas y Aflatoxina B1, un problema en salud animal. Teoría y praxis investigativa, 5:71.
38. NAZPARVAR SOUFIANI, G.R., RAZMARA, M., KERMANSHAHI, H., BARRIENTOS VELÁZQUEZ, A.L. Y DANESHMAND, A. (2016). Assessment of aflatoxin B1 adsorption efficacy of natural and processed bentonites: In vitro and in vivo assays. Applied Clay Science, 123:129 –133.
39. NONES, J., NONES, J., GRACHER RIELLA, H., CABRAL KUHNEN, N. Y TRENTIN, A. (2015). Bentonite protects neural crest stem cells from death caused by aflatoxin B1. Applied Clay Science, 104:119 – 127.
40. NONES, J., SOLHAUG, A., ERIKSEN, G., PIER MACUVELEA, D.L., POLI, A., SOARES, C.,... NONES, J. (2017). Bentonite modified with zinc enhances aflatoxin B1 adsorption and increase survival of fibroblasts (3T3) and epithelial colorectal adenocarcinoma cells (Caco-2). Journal of Hazardous Materials, 337:80 – 89.
41. PALMER, R., TROEH, F. (1980). Introducción a la ciencia del suelo Mexico Editor S.A.
42. PANKAJ, S.K., SHI, H. Y KEENER, K.M. (2018). A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. Trends in Food Science & Technology. 71:73 – 83.
43. PATERSON, R.R.M; LIMA, N. 2010. How will climate change affect mycotoxins in food? Food Research International 43:1902–1914. doi: 10.1016/j.foodres.2009.07.010
44. PENG, C., MIN, F. Y LIUB, L. (2017). Effect of pH on the adsorption of dodecylamine on montmorillonite: Insights from experiments and molecular dynamics simulations. Applied Surface Science, 425:996 – 1005.
45. PIVAI, G., GALVANOZ, F., PIETRIL, A. Y PIVA, A. (1995). Detoxification methods of aflatoxins: A review. Nutrition Research, 15 (5):767-776.
46. REYNA-SANTAMARÍA L., BASILIO-NAVARRETEA A., MARTÍNEZ-ROJEROA 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. Sitio Argentino de Producción Animal, 48:215-222.
47. RILEY, R. T; NORRED, W. P. Mycotoxin prevention and decontamination. Corn – a case study. Thrid Joint FAO/WHO/UNEP International Conference on mycotixns. 1999.
 48. RIVAS, C., NUÑEZ, O., LONGORIA, F., GONZÁLEZ, L. (2013). Isoterma de Langmuir y Freundlich como modelos para la adsorción de componentes de ácido nucleico sobre WO₃. Revista saber. 26. 7.
 49. SANTILLÁN-MENDOZA, R., RODRÍGUEZ-ALVARADO, G., FERNÁNDEZ-PAVÍA, S. P., VÁZQUEZMARRUFO, G., MONTERO-CASTRO, J. C. Y BENÍTEZ-MALVIDO, J. (2017). Micotoxinas: ¿Qué son y cómo afectan a la salud pública?, Revista Digital Universitaria (RDU), vol. 18, núm. 6.
 50. SERRANO-COLL, H.A., CARDONA-CASTRO N. Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. Rev CES Med 2015;29(1):143-152
 51. SHARMEEN ALAM, S. Y DENG, Y. (2017). Protein interference on aflatoxin B1 adsorption by smectites in corn fermentation solution. Applied Clay Science, 144, 36 – 44.
 52. SHARMEEN ALAM, S., DENG, Y. Y DIXON, J.B. (2015). Minimal interference of glucose and ethanol on aflatoxin B1 adsorption by smectites. Applied Clay Science, 104, 143 – 149.
 53. SLAMOVA, R., TRCKOVA, M., VONDRUSKOVA, H., ZRALY, Z. Y PAVLIK, I. (2011). Clay minerals in animal nutrition. Applied Clay Science, 51, 395 – 298.
 54. SUN, X., SUN, C., ZHANG, X., ZHANG, H., JI, J., LIU, Y. Y TANG, L. (2016). Aflatoxin B1 decontamination by UV-mutated live and immobilized Aspergillus niger. Food Control, 61, 235 – 242.
 55. TAPIA-SALAZAR, M; GARCÍA-PÉREZ, O; NIETO-LÓPEZ, M; RICQUEMARIE, D; VILLARREAL-CAVAZOS, D; CRUZ-SUÁREZ, L. Uso de secuestrantes para disminuir la toxicidad de micotoxinas en alimentos para

- acuacultura. Mycotoxins in aquaculture: Occurrence in feeds components and impact on animal performance. *Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 2010. (514-546).
56. WANG, G., MIAO, Y., SUN, Z. Y ZHENG, S. (2018). Simultaneous adsorption of aflatoxin B1 and zearalenone by mono- and di-alkyl cationic surfactants modified montmorillonites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 511, 67 – 76.
 57. WU, H., XIE, H., HE, G., GUAN, Y. Y ZHANG, Y. (2016). Effects of the pH and anions on the adsorption of tetracycline on iron-montmorillonite. *Applied Clay Science*, 119, 161 – 169.
 58. ZAIN, M.E. (2011). Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of saudi chemical socitety*, 15, 129-144.
 59. ZENG, L., WANG, S., PENG, X., GENG, J., CHEN, C. y LI, M. (2013). Al-Fe PILC preparation, characterization and its potential adsorption capacity for aflatoxin B1. *Applied Clay Science*, 83 - 84, 231–237.
 60. ZHAO, Y., LIU, F. Y QIN X. (2017). Adsorption of diclofenac onto goethite: Adsorption kinetics and effects of pH. *Chemosphere*, 180, 373 – 378.