

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**METODOLOGIA PARA EL CONTROL DE HONGOS Y BACTERIAS EN
SISTEMAS DE PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCION TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA**

PRESENTA:

CARLOS ENRIQUE GONZALEZ OVANDO

Saltillo, Coahuila, México

Agosto 2009

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

**METODOLOGIA PARA EL CONTROL DE HONGOS Y BACTERIAS EN
SISTEMAS DE PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO**

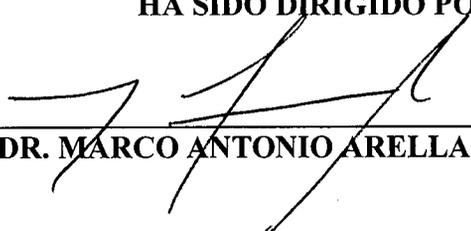
PRESENTADO POR:

CARLOS ENRIQUE GONZALEZ OVANDO

REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCION TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA**

HA SIDO DIRIGIDO POR:


DR. MARCO ANTONIO ARELLANO GARCIA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



A TRAVES DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO

METODOLOGIA PARA EL CONTROL DE HONGOS Y BACTERIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO

QUE PRESENTA:

CARLOS ENRIQUE GONZALEZ OVANDO

HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCION TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA

PRESIDENTE

DR. ALONSO VALDEZ AGUILAR

VOCAL

DRA. HORTENSIA ORTEGA ORTÍZ

Índice	Página
Agradecimiento	i
Dedicatoria	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	
2.1 Factores que influyen en la contaminación del forraje verde hidropónico	3
2.1.1 Calidad de la semilla	3
2.1.2 Calidad de agua de riego	4
2.1.3 Iluminación	6
2.1.4 Temperatura	7
2.1.5 Humedad	7
2.1.6 Ventilación	8
2.2 Principales hongos que atacan el forraje verde hidropónico	8
2.2.1 <i>Aspergillus</i>	9
a) <i>Aspergillus flavus</i>	10
b) <i>Aspergillus candidus</i>	11
c) <i>Aspergillus fumigatus</i>	11
d) <i>Aspergillus restrictus</i>	11
e) <i>Aspergillus versicolor</i>	12
2.2.2 <i>Fusarium</i>	12
a) <i>Fusarium culmorum</i>	14
b) <i>Fusarium graminearum</i>	14
c) <i>Fusarium sporotrichoides</i>	15
d) <i>Fusarium poae</i>	15
e) <i>Fusarium miliniforme</i>	15
2.2.3 <i>Penicillium</i>	15
a) <i>Penicillium aurantiogriseum</i>	16

b) <i>Penicillium brevicompactum</i>	16
c) <i>Penicillium citrinum</i>	17
d) <i>Penicillium commune</i>	17
e) <i>Penicillium digitatum</i>	17
f) <i>Penicillium expansum</i>	17
g) <i>Penicillium islandicum</i>	18
h) <i>Penicillium roquefortii</i>	18
i) <i>Penicillium verrocosum</i>	18
2.2.4 Alternaria	18
2.2.5 Cladosporium	19
2.2.6 Claviceps	19
2.2.7 Phytium	19
2.3 Micotoxinas	20
2.3.1 Micotoxinas de importancia mundial	21
2.3.2 Tipos de micotoxinas	22
a) Aflatoxinas	22
b) Ocratoxinas	26
c) Trichotecenos o vomitoxinas	27
d) Toxina T-2	29
e) Zearalenona	30
f) Fumonisinias	31
g) Patulinas	33
h) Citrinas	33
2.4 Métodos de control de enfermedades	34
2.4.1 Biofungicidas	34
2.4.2 Hongos	34
2.4.3 Biobactericidas	34
2.4.4 Bacterias	34
2.5 Prevención de contaminación por hongos micotóxicos	35
2.6 Estrategias para prevenir hongos en el forraje verde hidropónico	35

2.7 Control y eliminación de hongos en forraje verde hidropónico	35
2.7.1 Uso de absorbedores	37
2.7.2 Aluminosilicatos hidratados de sodio y calcio	37
2.7.3 Amonio	38
2.7.4 Arcillas	38
2.7.5 Carbón de leña activado	38
2.7.6 Colestiramina	39
2.7.7 Crospovidona	39
2.7.8 Sulfatos	39
2.8 Análisis para la detección de micotoxinas	40
III. ESTADO DEL ARTE	41
IV. ÁREA DE OPORTUNIDADES	43
V. CONCLUSIONES	44
VI. BIBLIOGRAFÍA	46

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Calidades de agua de riego en relación con la obturación de goteros	6
Cuadro 2. Temperatura y actividad de agua requerida para el desarrollo de algunas especies de <i>Aspergillus</i>	10
Cuadro 3. Especies de <i>Fusarium</i> y principales micotoxinas que producen	14
Cuadro 4. Temperatura y Actividad del agua necesaria para el crecimiento de algunas especies de <i>penicillium</i>	16
Cuadro 5. Principales Micotoxinas	21
Cuadro 6. Incidencias de Micotoxinas según Zonas Geográficas	22
Cuadro7. Tipos de micotoxinas que producen los hongos <i>Aspergillus</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Penicillium</i> y <i>Claviceps</i> .	23
Cuadro 8. Dosis Letal 50 mg/Kg Oral de Aflatoxinas	28



Índice de Figuras

VIII FIGURAS

Figura 1. Estructura de Aflatoxina B1	24
Figura 2. Estructura de Ocratoxina	26
Figura 3. Estructura de Vomitoxina	28
Figura 4. Estructura de Zearalenona	30
Figura 5. Estructura de Fumonisinias	32
Figura 6. Estructura de Patulinas	33

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Definitivamente, Dios, mi Señor, mi Guía, mi Proveedor, mi Fin Ultimo; sabes lo esencial que has sido en mi posición firme de alcanzar esta meta, esta alegría, que si pudiera hacerla material, la hiciera para entregártela, pero a través de esta meta, podré siempre de tu mano alcanzar otras que espero sean para tu Gloria.

Al CONACYT

Por haberme brindado el apoyo económico que gracias a ello me fue posible seguir adelante.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

Por darme la oportunidad de seguir con mis estudios de especialidad y desarrollar mis conocimientos en agroplasticultura en la institución.

A Los profesores del CIQA

Por la paciencia y los sabios consejos para mi formación por la dedicación y las buenas enseñanzas que nos brindaron

Al M.C Boanerges cedeño Ruvalcaba: (Q.E.P.D)

Por sus sabios consejos y por ser una persona muy apta para desempeñar su papel gracias por todo ingeniero.

A la M.C Isaura

Por los buenos consejos y dedicación en su trabajo , la constancia para que nosotros como estudiante obtuviéramos siempre lo necesario para tener una buena formación.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto

A mi esposa

Ana Magdalena Estrada Acosta

Por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presentan. Por el inmenso amor que me tiene y por ser la mujer mas maravillosa, te amo.

A mi hija:

Kristian Denisse Gonzalez Estrada

Por ser el aliento de mi vida y la fuerza para salir adelante te amo.

A mis padres:

Beatriz y Julio

Ya que gracias a ellos soy quien soy hoy en día, fueron los que me dieron ese cariño y calor humano necesario, son los que han velado por mi salud, mis estudios, mi educación alimentación entre otros, son a ellos a quien les debo todo, horas de consejos, de regaños, de reprimendas de tristezas y de alegrías de las cuales estoy muy seguro que las han hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de las cuales me siento extremadamente orgulloso.

A mis hermanos:

Dieguito y Lourdes

Quienes han compartido todos esos secretos y aventuras que solo se pueden vivir entre hermanos y que han estado siempre alerta ante cualquier problema que se me puedan presentar, dieguito y Lourdes prácticamente hemos vivido las mismas historias, los mismos pesares y las mismas alegrías. Los amo.

A mí suegra:

Magdalena Acosta Sosa

Por ser parte de mi familia gracias por el apoyo que me ha brindado y por sus buenos consejos para salir adelante. La quiero mucho

A mis abuelos:

Jesús Ovando (Q.E.P.D)

Mercedes López (Q.E.P.D)

Antonia Cruz

Por todo ese tiempo dedicado y la paciencia que nos tuvieron de chicos, gracias por sus consejos y por ser para mi como unos padres los amo donde quiera que se encuentren abuelo Jesús y abuela mercedes los amo.

I. INTRODUCCION

El Forraje Verde Hidropónico FVH es un tipo de cultivo hidropónico de forraje que se hace germinando cereales sobre sustratos que no sean tierra o suelo, utilizando como nutrientes las soluciones típicas de la hidroponía. Es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir de la germinación y crecimiento de plántulas a partir de semillas viables. Esto consiste en la germinación de semillas de cereales y algunas leguminosas contenidas en bandejas de plástico para este fin y su crecimiento bajo condiciones ambientales controladas en estructuras de invernaderos. Los principales granos utilizados para este sistema son el trigo, cebada, avena y maíz. Por medio de este sistema se obtendrá un forraje de alta palatabilidad, sanidad y calidad nutricional en un periodo corto de tiempo el cual fluctúa de 10 a 15 días (Dosal, 1987; Sánchez, 2000).

Comercialmente, el sistema hidropónico ha probado ser el método más efectivo para el crecimiento de una amplia variedad de cultivos. Este sistema se ha utilizado con éxito en Australia, Canadá, Europa, Estados Unidos y Nueva Zelanda.

Con este sistema el forraje puede ser producido en cualquier época del año, seleccionando la especie adecuada para cada condición climática. Esta tecnología es complementaria y no competitiva con la producción convencional del forraje, por lo cual este sistema de producción representa una alternativa para la alimentación de todo tipo de animales domésticos y es especialmente útil durante los periodos de escasez del forraje verde tradicional (Sánchez, 2000).

Existen algunos problemas en el sistema de producción de forraje verde hidropónico, el principal corresponde a la aparición de hongos y bacterias; debido principalmente a las condiciones húmedas de la producción.

La humedad relativa es uno de los factores que influye en la aparición de hongos. Valores superiores al 90% de humedad, provocan problemas fitosanitarios, los cuales son difíciles de controlar y eliminar. Por otra parte, la semilla no germinada representa una fuente de

contaminación por el proceso de descomposición que en ella ocurre y que es el alimento para el desarrollo de hongos y bacterias (Sánchez, 2002).

Cualquiera que sea el motivo de la aparición de hongos, estos representan uno de los problemas principales en la producción de forraje verde hidropónico, ya que estos hongos producen micotoxinas que pueden causar daños al ganado e incluso la muerte. Las micotoxinas en la producción de forraje verde hidropónico constituyen un problema que comienza desde la germinación de las semillas y continúa durante su desarrollo, cuya única solución es prevenir el crecimiento fúngico. Se ha comprobado la acción de unas pocas toxinas en brotes de intoxicación humana y animal, las otras han sido ensayadas en animales de experimentación. Los hongos crecen sobre los vegetales provocando el deterioro de los mismos. Forman metabolitos secundarios que actúan como antibióticos favoreciendo la prevalencia del hongo frente a otros microorganismos, muchos de los cuales son tóxicos para las plantas y los animales. Estos metabolitos que enferman o matan a los animales que los consumen se conocen como micotoxinas y la afección se llama micotoxicosis (Swanson, 1987).

En México aun no se han reportado casos documentados de muertes de animales por micotoxinas, sin embargo, se cuenta con información transmitida por colegas de la Región Lagunera, de que desistieron del sistema de producción de forraje verde hidropónico porque al alimentar al ganado vacuno con este, provocaron la muerte de 4 animales. Esto refleja la necesidad urgente de informar y controlar los hongos que se presentan en este sistema de producción.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Factores que influyen en la contaminación por hongos en el forraje verde hidropónico (FVH)

Desafortunadamente en un ambiente controlado y húmedo se tiene problemas de importancia que afectan la producción; entre los principales problemas se encuentra la contaminación por hongos y bacterias. El tipo común de hongo, que afecta la producción, es un hongo conocido como *rhizopus* y ataca el grano, el *rhizopus* es un hongo del pan, que esta presente en todos los granos del cereal y en el suelo, a tal grado que se disemina por todo el mundo. Un control climático estricto en el forraje limita a menudo la cantidad de esporas del hongo que pueden germinar. Sin embargo si este hongo progresa rápidamente en etapa temprana, se convierte en una fuente mayor de alimento para patógenos más peligrosos tales como bacterias y *Apergillus* que causan problemas e incluso muerte en el ganado. El hongo del *Apergillus* ha sido encontrado como la principal causa de casos de envenenamiento en Sudáfrica, Israel, Francia, Inglaterra y China (Monney, 2002).

Dentro de los factores que encontramos para la formación de hongos se encuentran: la calidad de la semilla, calidad de agua de riego, iluminación, temperatura, humedad, ventilación y una gran cantidad de microorganismos que se encuentran superficialmente en los polvos que van en los granos, los cuales son algunos de los mayores problemas que se encuentran los productores de forraje verde hidropónico, ya que se desarrollan durante el periodo de germinación del grano, y producen zonas ácidas y putrefacciones incipientes que serán causantes de una pobre calidad en el forraje, reducción del rendimiento e intoxicación en el ganado, por eso es muy importante la buena selección del grano y es imprescindible un buen tratamiento previo ala germinación (Arano, 1998).

2.1.1 Calidad de la semilla

El éxito del forraje verde comienza con la elección de una buena semilla, tanto en la calidad como en la fisiología. La semilla debe de presentar un porcentaje de germinación mayor al 70

-75 % para evitar pérdidas en el rendimiento del forraje verde hidropónico, esta semilla a utilizar tiene que estar limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1% a través de un baño de inmersión, el cual dura aproximadamente entre 3 y 5 minutos, y el lote de semilla no debe contener semillas partidas, ni semillas de otros cultivares (FAO, 2001)

2.1.2 Calidad del agua de riego

La calidad de agua de riego es otro de los factores importantes. La condición básica que debe presentar el agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo, de lluvia, o agua corriente de cañerías. Si el agua disponible no es potable, tendremos problemas sanitarios y nutricionales con el forraje verde hidropónico. Para el caso en que la calidad del agua no sea la más conveniente, será imprescindible el realizar un análisis químico de la misma y en base a ello formular la solución nutritiva, así como evaluar que otro tipo de tratamiento tendría que ser efectuado para asegurar su calidad (FAO, 2001).

La calidad del agua no puede ser descuidada y existen casos donde desconocer su importancia fue causa de fracasos y pérdidas de tiempo. Un ejemplo de esto lo constituye una experiencia llevada a cabo en el Departamento de Rocha – Uruguay – donde la utilización de una fuente de agua proveniente de una cañada del lugar, provocó una muy severa aparición de enfermedades fungosas, al igual que una elevada presencia de colibacilos fecales en el cultivo. Ramos (1999), establece criterios en el uso de aguas para cultivos hidropónico respecto a: i) contenido en sales y elementos fitotóxicos (sodio, cloro y boro); ii) contenido de microorganismos patógenos; iii) concentración de metales pesados; y iv) concentración de nutrientes y compuestos orgánicos.

pH. El pH del agua de riego debe oscilar entre 5.2 y 7 y salvo raras excepciones como en el caso de las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta en un pH cercano a 7.5, el resto de las semillas utilizadas (cereales principalmente) usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por arriba de un pH 7.

Ahora bien el pH es considerado de acuerdo con Jackson (1970) como una de las propiedades químicas más importantes del suelo y agua debido al significativo efecto que ejerce tanto sobre las características físicas, químicas y biológicas de éste, como también sobre el rendimiento de los cultivos (Guigon *et al.* 1989, Saña *et al.* 1996, Cepeda 1999). Esta variable puede determinar desde el punto de vista biológico el tipo de organismo que se desarrolle sobre un suelo, debido a su gran influencia sobre la disponibilidad de los nutrientes. Al respecto, Wild (1992) afirma que el efecto del pH sobre los hongos y grupos de bacterias constituyen los dos grandes grupos de microorganismos del suelo y el predominio de uno u otro grupo depende de las condiciones locales, especialmente del pH y del contenido de humedad.

Conductividad eléctrica (CE) La conductividad eléctrica del agua nos indica cual es la concentración de sales en una solución. Es una medida de la fuerza de la solución nutritiva. Entre más alta sea la conductividad, hay más sólidos disueltos en la solución. Plantas delicadas, esquejes o cortes de tallos y semillas pueden ser quemados por fertilizantes si la conductividad es muy alta. Facilitando la aparición de hongos. Una vez que las plantas comienzan a crecer necesitan una solución nutritiva más concentrada, por tal razón la conductividad necesita ser incrementada añadiendo nutrientes. Algunas plantas prefieren una concentración media de nutrientes, mientras que otras crecen y producen mejor calidad de frutas con una concentración alta.

En nuestro caso, nos referiremos siempre a la solución nutritiva que se le aplica al cultivo. Su valor se expresa en miliSiemens por centímetro (mS/cm) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. En términos físico-químicos la CE de una solución significa una valoración de la velocidad que tiene un flujo de corriente eléctrica en el agua. Un rango óptimo de CE de una solución nutritiva debe estar entre 1,5 y 2,0 mS/cm. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1,0 serían las más aptas para preparar nuestra solución de riego. Debe tomarse en cuenta también que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre 50 – 150 miligramos por litro de agua (Ramos, 1999). Uno de los principales problemas que ocurre en el riego localizado (goteo, microaspersión), es la obturación de los emisores por los sólidos en suspensión de las aguas de riego.

Cuadro 1. Calidades de agua de riego en relación con la obturación de los goteros

Elemento de obturación	Peligro de obturación		
	Bajo	Medio	Alto
Sólidos en suspensión (mg/L)	<50	50 - 100	>100
pH	<7,0	7,0 - 8,0	>8,0
Sólidos disueltos (mg/L)	<500	500 - 2000	>2000
Manganeso (mg/L)	<0,1	0,1 -1,5	>1,5
Hierro total (mg/L)	<0,2	0,2 - 2,0	>2,0
Sulfuro de hidrógeno (mg/L)	<0,2	0,2 - 2,0	>2,0
No. de bacterias/ml	<10.000	10.000 - 50.000	>50.000

2.1.3 Iluminación

Si no existiera luz dentro de los recintos para forraje verde hidropónico, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción de biomasa. Hay que tomar en cuenta que el crecimiento de hongos esta por debajo de una iluminación de 20%. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, a la vez promueve la síntesis de compuestos (por ejemplo: vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal.

Al comienzo del ciclo de producción de forraje verde hidropónico, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día de sembradas, las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue pero con riego oportuno para favorecer la aparición de los brotes y el desarrollo posterior de las raíces. A partir del 3^{er} ó 4^o día iniciamos el riego con solución nutritiva y exponemos las bandejas a una iluminación bien distribuída pero nunca con luz solar directa. Sin embargo, se recomienda que en los dos últimos días del proceso de producción, se expongan las bandejas a la acción de la luz para lograr, como cosa primordial que el forraje obtenga su color verde intenso y característico y complete su riqueza nutricional (FAO, 2001).

2.1.4 Temperatura

Otro de los factores que afectan la producción de forraje, es la temperatura ambiente, aquí el control es muy importante, aunque depende mucho del tipo de grano escogido y su variedad, así mismo implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma. El rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18°C y 28°C (FAO, 2001). La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos en FVH es diverso. Es así que los granos de avena, cebada, y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar. El rango de temperatura para ellos oscila entre los 18°C y 21°C. Sin embargo el maíz, muy deseado por el volumen importante de FVH que produce, aparte de su gran riqueza nutricional, necesita de temperaturas óptimas que varían entre los 25°C y 28°C (FAO, 2001). Cada especie presenta requerimientos de temperatura óptima para germinación lo que se suma a los cuidados respecto a la humedad. En las condiciones de producción de FVH, la humedad relativa ambiente es generalmente cercana al 100%. A medida que aumenta la temperatura mínima de germinación, el control del drenaje de las bandejas es básico para evitar excesos de humedad y la aparición de enfermedades provocadas por hongos. La presencia de estos microorganismos puede llegar a ser la causa de fracasos de producción por lo que la vigilancia a cualquier tipo de situación anómala, debe constituirse en rutina de nuestra producción. El ataque de los hongos usualmente resulta fulminante y puede en cuestión de horas arrasarse con toda la producción. Tener una buena aireación del local, así como riegos bien dosificados son un excelente manejo contra este tipo de problemas. Una herramienta importante que debe estar instalada en los locales de producción es un termómetro de máxima y mínima que permitirá llevar el control diario de temperaturas y detectar rápidamente posibles problemas debido a variaciones del rango óptimo de la misma. Lo ideal es mantener siempre en el recinto de producción, condiciones de rango de temperatura constante.

2.1.5 Humedad

La humedad juega un papel importante en la producción de forraje verde hidropónico, por lo cual, es aconsejable una buena circulación de aire a efecto de minimizar el exceso de

humedad, ya que si es muy alta resultarían problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas o bacterianas difíciles de combatir y eliminar, como el *Damping off* y los tizones (Rodríguez, 2003). También es aconsejable una buena circulación de aire para minimizar el exceso de humedad y evitar así los problemas fitosanitarios provocados por hongos o bacterias.

Mientras menor sea la humedad relativa en el ambiente del cultivo de FVH, mayor será la necesidad de la planta por mantener su propia humedad. El rango óptimo de humedad relativa oscila entre 60 y 80% y es posible medirla con un higrómetro.

2.1. 6 Ventilación

Una inadecuada ventilación de los invernaderos es otra de las causas de contaminación, por lo tanto, para combatir estos problemas es de vital importancia que exista una buena ventilación. Hay que asegurarse que el área este ventilada suficientemente permitiendo un flujo constante del aire a través del invernadero (Arano, 1998)

Se debe evitar que el aire que fluya a través del invernadero lleve mucho polvo, el cual contiene esporas que contaminarían el forraje. La ventilación también evita que se condense la humedad y se formen gotas de agua que caen sobre el forraje y que son óptimas para el desarrollo de los hongos, se ha demostrado en investigaciones continuas que los nutrientes escasos en el sistema de riego producen plantas débiles, un crecimiento menor y más lento, las cuales además son muy susceptibles al ataque de hongos y bacterias. Por lo tanto es de importancia extrema que la nutrición sea correcta y adecuada para la producción de forraje verde hidropónico de calidad (Monney, 2002).

2.2 Principales hongos que atacan el forraje verde hidropónico

Durante su crecimiento, las plantas forrajeras son susceptibles de infecciones de diversos hongos, algunos de los cuales pueden producir micotoxinas. Estos hongos incluyen especies de *Fusarium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Claviceps*, *Penicillium*, *Pythium*, e infecciones

endófitas (Scudamore & Livesey, 1998) sin embargo los de mayor importancia son: *Aspergillus*, *Fusarium*, *penicillium*. Estos hongos pueden ser adquiridos en el campo o en invernaderos y difieren según el vegetal, el clima y la región geográfica (Lacey, 1989). Además requieren una humedad relativa ambiente del 90 - 100% y un contenido de agua en las semillas de 22 - 23%, con un amplio rango de temperatura entre 0 y 30°C, aunque algunos pueden crecer a 35°C o más (Christensen, 1987).

2.2.1 *Aspergillus*

El *Aspergillus* causa el deterioro de muchos productos alimenticios. Los productos metabólicos de la invasión fúngica suelen ser muy tóxicos, tanto para el hombre como para los animales. También producen la inhibición de la germinación junto con cambios de color, calentamiento, amohosado, apelmazado y finalmente podredumbre de las semillas. Algunas especies, por ejemplo *A. Níger* o *A. oryzae*, son de interés industrial o se emplean en la fermentación de alimentos en ciertas regiones, la ubicuidad de los *Aspergillus* es debida a su capacidad para crecer a diferentes temperaturas sobre substratos con diversos contenidos de humedad (Denli & Pérez, 2006). La temperatura y actividad de agua para los *aspergillus* dependerá de la especie (Lacey, 1989) (Cuadro 2).

La colonización de los granos durante el almacenamiento, por *Aspergillus* y otros hongos, se produce de forma explosiva cuando la humedad relativa ambiente intergranular se eleva por arriba del 70 %, sin que se desencadene aún el fenómeno de brotación. El rango de temperatura para el crecimiento va desde 0 -5 ° C para el *A. glaucus* hasta 50 - 55 °C para *A. fumigatus*, estando el óptimo entre 30-33 °C para la mayoría de las especies. Si unos granos con un contenido de humedad del 15 % no fueron afectados por *aspergillus* durante todo el año es porque la temperatura de almacenamiento estuvo por debajo de 5-10°C. (Carillo, 2003).

Cuadro 2. Temperatura y actividad de agua requerida para el desarrollo de algunas especies de *Aspergillus* (Lacey, 1989).

Especie	Temperatura en °C		Actividad del agua	
	Rango	Optimo	Mínimo	Optimo
<i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i>	6-45	35-37	0.78	0.95
<i>A. candidus</i>	3-44	25-32	0.75	0.90-0.98
<i>A. fumigatus</i>	10-55	40-42	0.85	0.98-0.99
<i>A. restrictus</i>	9-40	30	0.71	0.96
<i>A. versicolor</i>	4-39	25-30	0.78	0.95

a) *Aspergillus flavus*

Especies estrechamente relacionadas desde hace mucho tiempo reconocidos como los principales contaminantes de materia orgánica y elementos inorgánicos. Hongo común del suelo que pueden infestar una amplia gama de productos agrícolas. Algunos *A. flavus* producen variedades de aflatoxinas que son toxinas cancerígenas que inducen el cáncer de hígado en animales de laboratorio. *A. flavus* var. *flavus*, *A. flavus* subsp. *parasiticus*, y *A. nomius* comparten la capacidad de producir aflatoxinas. La identificación del grupo de especies de *A. flavus* se basa principalmente en el color y las características macroscópicas y microscópicas del hongo. La presencia de aflatoxina depende de la biosíntesis y el crecimiento del sustrato, la humedad, la temperatura, el pH, la aireación, la microflora y la competencia.

-*Características macroscópicas:* Colonias en CYA y CY20S de color verde oliva a verde amarillento; micelio blanco; esclerocios, cuando están presentes, de color marrón oscuro a negro, variables en forma y tamaño; reverso incoloro, marrón claro o anaranjado; textura de la colonia variable, generalmente lanosa o flocosa.

-*Características microscópicas* Cabezas conidiales uniseriadas y biseriadas, principalmente radiales. Vesícula esférica; métulas ocupando prácticamente toda la superficie de la vesícula conidios globosos o elipsoidales, lisos o ligeramente rugosos.

b) *Aspergillus candidus*

En este grupo sólo existe una especie *Aspergillus candidus*. Este hongo requiere humedades relativas alrededor de 80 % (actividad de agua 0.80) y crece en cereales con contenidos de humedad de 14.5 – 16.0 %; en soya de 14.0 – 15.0 % y en cacahuate de 7.0 a 8.0 %. La presencia de este hongo es indicativa de que el porte de grano está sufriendo deterioro severo. Es común en trigo y sus derivados. No se le considera hongo toxigénico. Reduce el poder germinativo de las semillas y es uno de los hongos involucrados en el calentamiento de los granos. Colonias de color blanco, tanto jóvenes como viejas.

c) *Aspergillus fumigatus*

Se le considera hongo de deterioro avanzado, ya que se aísla de productos en avanzado estado de descomposición, contribuyendo al calentamiento debido a la acción microbiana, puede desarrollarse a temperaturas de 40 a 50 °C. Este hongo causa aspergilosis en el hombre, infectando los pulmones. Produce las micotoxinas viriditoxinas, glitoxina y fumagilina. En ganado vacuno causa abortos. Para crecer requiere que los productos tengan contenidos de humedad en equilibrio con humedades relativas de 95 – 100% (actividad de agua de 0.95-1.0); prácticamente requiere agua libre, condición que solo se encuentra en productos en avanzado deterioro. No es un microorganismo xerófilo, por lo que no crece fácilmente en medio con alto contenido de sal o sacarosa. Las colonias son de color verde azul.

d) *Aspergillus restrictus*

Los miembros de este grupo requieren alta presión osmótica para crecer y humedad relativa entre 70 -75 %, (actividad de agua 0.70- 0.75). Su aislamiento debe hacerse en malta – sal – agar con 6% ó 10% de cloruro de sodio; su crecimiento es muy lento y requiere en los granos

contenidos de humedad de 14.0-15.0 % en cereales y de 6.0-7.0% en cacahuates. No son productores de toxinas. Afectan la germinación de las semillas. Las colonias de estos hongos son pequeñas y de color verde oscuro y las cabezuelas conidiales son de columnares, a simple vista se puede confundir con *penicillium*.

e) *Aspergillus versicolor*

Hongos de almacén que requieren que los productos tengan contenido de humedad en equilibrio con humedades relativas de 80 -85 % (actividad de agua 0.80 – 0.85).

2.2.2 *Fusarium*

Es un hongo de campo que requiere alta humedad relativa (90%) y la temperatura del grano debe estar a 23°C para su crecimiento por lo que muy raramente crece después de cosecha ya que las condiciones de almacén generalmente no son convenientes para su desarrollo. Incluso la rehumectación del grano seco tiene pocas probabilidades de crecimiento del hongo y de la producción de toxinas. En campo, el hongo causa la muerte de óvulos, marchitamiento del grano, debilitamiento o muerte de embriones (Ramírez, 2006).

La forma y tamaño de las esporas es la característica principal para el reconocimiento de los *Fusarium*. Las esporas están dispersas en el micelio aéreo o en esporodoquios o masas limosas (pionotos). Los macroconidios son curvados, pluriseptados, con una célula apical más o menos puntiaguda y en muchas especies con una célula basal en forma de pie. Los microconidios son comúnmente unicelulares, elipsoidales, fusiformes, claviformes, piriformes o subglobosos, similares en ancho a los macroconidios, con una base redondeada o truncada, por lo general formando cabezuelas mucosas, pero en algunas especies en cadenas basípetas. No siempre son producidos ambos tipos de esporas. Los conidióforos del micelio aéreo en algunos casos sólo constan de una célula conidiógena, en otros están ramificados, a veces en verticilos. Las monofiálides producen conidios desde una sola abertura y en las polifiálides surgen las esporas desde más de una abertura en la misma célula (Booth 1971).

La presencia de una célula basal con forma de pie en los macroconidios se considera característica de *Fusarium* pero varios géneros de Coelomycetes también la tienen. A su vez unas pocas especies de *Fusarium* presentan conidios pluriseptados sin esa célula basal y se las llama mesoconidios (Seifert 2001). Algunas especies presentan clamidosporas terminales, laterales o intercalares, a veces formando cadenas. Las células conidiales ocasionalmente se transforman en clamidosporas. Algunas especies forman esclerocios irregulares, de color beige, ocre, pardo o gris oscuro.

Las colonias de los distintos *Fusarium* que crecen moderada a profusamente, tienen diversos colores (blanco, rosado pálido, rojo, anaranjado, púrpura, celeste, verde aceituna o pardo), especialmente en el reverso de la colonia, excepto pardo oscuro o negro. El micelio es ralo o denso, ya sea algodonoso, como un fieltro o con una zona central de funículos, pero en algunos casos es limoso. Hay *Fusarium* con pionotos de color anaranjado. Los pigmentos que se difunden en el agar suelen variar de color o tono con el pH. Algunas especies presentan zonas concéntricas de distinta morfología macroscópica debido a la secuencia luz-oscuridad (Seifert 2001).

Los hongos micotóxicos de este género son hongos de campo, patógenos comunes de cereales, que causan enfermedades tales como destrozo principal del trigo, cebada y putrefacción en maíz. Existen varias especies de *Fusarium* las cuales son un riesgo significativo por su producción de micotoxinas (Lawlor & Lynch, 2001) ver cuadro No 3.

Estas especies requieren temperaturas bajas para su crecimiento y la producción de micotoxinas varía según las especies de *Aspergillus*, por lo tanto la micotoxicosis de *Fusarium* se asocia considerablemente al efecto de la temperatura, la humedad y el pH en los granos o forrajes (Lawlor & Lynch, 2001).

Cuadro 3. Especies de *Fusarium* y principales micotoxinas que producen (Lawlor & Lynch, 2001).

ESPECIES DE FUSARIUM	MICOTOXINAS
<i>F.culmorum</i> ; <i>F.graminearum</i> , <i>F. sporotrichoides</i>	Deoxinivalenol
<i>F.sporotrichoides</i> , <i>F. poae</i>	T-2 TOXINA
<i>F. poae</i>	Diacetoxiscirpenol
<i>F.culmorum</i> , <i>F.sporotrichoides</i> , <i>F.graminearum</i>	Zearalenone
<i>F. moniliforme</i>	Fumonisinias
<i>F.moliniforme</i>	Acido fusárico

a) *Fusarium culmorum*

Es un patógeno de las plantas y el agente causal del tizón de plántulas, putrefacción, deterioro del oído, la pudrición del tallo, pudrición de la raíz común y otras enfermedades de los cereales, gramíneas y una amplia variedad de monocotiledóneas y dicotiledóneas.

b) *Fusarium graminearum*

Es un importante patógeno de plantas en todo el mundo, responsable de enfermedades y la pudrición de la corona de cereales. *F. graminearum* son especies que además son responsables de grandes pérdidas económicas debido a la disminución en la calidad de la semilla y la contaminación del grano con micotoxinas como tricothecen.

c) *Fusarium sporotrichoides*

Este hongo produce la toxina T-2 que rara vez se presenta en cereales como trigo y maíz. Sin embargo, se considera que la toxina ha desempeñado un papel importante en las intoxicaciones humanas a gran escala en Siberia durante este siglo.

d) *Fusarium poae*

El hongo de *F. poae* produce la toxina de Nivalenol 4.1 y HT-29.2 es considerada una especie tóxica que coloniza en épocas de emergencia de la hoja de plantas de trigo y cebada.

e) *Fusarium moniliforme*

Presentan abundante micelio aéreo de crecimiento rápido, colonia de coloración rosada por la cara superior y por su cara inferior una coloración salmón intermedio. De acuerdo a estudios pueden presentar dimensiones de 2,4-4,5 x 16-56 m. *Fusarium moniliforme* Sheldon, agente causante de la enfermedad conocida como pudrición del tallo y de la mazorca (McGee, 1988).

El estado sexual del patógeno, es más común en zonas frías y húmedas. Los primeros signos de la infección son de la formación de micelios blancos. El hongo produce micotoxinas (conocidas como deoxinivalenol, zearalenona y zearalenol) que son tóxicas para varias especies animales.

2.2.3 *Penicillium*

El *penicillium* crece sobre los alimentos preparados o sus materias primas, ya sean de origen vegetal o animal, si hallan la actividad del agua y los nutrientes necesarios los granos de cereales pueden contener *P. aurantiogriseum* aún antes de la cosecha (Corry 1987. Lacey 1989) (Cuadro 4). La contaminación más grande ocurre en los depósitos donde se mantienen las esporas desde una cosecha anterior, las especies de *Penicillium* producen varios metabolitos secundarios, entre ellos ácido ciclopiazónico, ácido penicilico, cicloclorotina, citroviridina, citrinina, griseofulvina, ocratoxina A, patulina y *penitrem* A. todas estas

substancias son producidas por los hongos para afianzarse en su ambiente natural inhibiendo a otros organismos que compiten por el sustrato. Las micotoxinas tienen estructura química diversa, su peso molecular es relativamente bajo y se difunden en el medio. Algunas existen en cantidades significativas en el ambiente natural como para influir en la salud del hombre y otros animales (Asero & Suquilanda, 2007).

Cuadro 4 Temperatura y Actividad del agua necesaria para el crecimiento de algunas especies de *penicillium* (Coury 1987. Lacey 1989).

Especies	Temperatura °C		Actividad del agua	
	Rango	óptimo	Mínima	Óptima
<i>P. aurantiogriseum</i>	-2 a 32	23	0.81-0.83	0.98
<i>P. brevicompactum</i>	12- 30	23	0.80-0.82	0.99
<i>P. citrinum</i>	<5 –37	26-30	0.80-0.84	
<i>P. commune</i>	0 –37	25	0.85	
<i>P. digitatum</i>	6-37	20-25	0.90	0.99
<i>P. expansum</i>	-3 a 35	25-26	0.82-0.83	0.99
<i>P. islandicum</i>	10 – 42	31	0.83-0.86	
<i>P. roquefortii</i>	<5 – 35	25	0.83	0.99
<i>P. verrucosum</i>	0 -31	20	0.80	

a) *Penicillium aurantiogriseum*

Son especies productoras de ácido penicílico, común en granos, frutas, hortalizas y carnes. Las especies productoras del ácido penicílico crecen a 5°C (Pitt & Hocking 1997).

b) *Penicillium brevicompactum*

Hongo filamentoso que presenta conidióforos tabicados de pared lisa (de 500-800 µm) y ramificados en sus extremos, con métulas compactas (de 9-12 µm) y fiálides en forma de botella (de 6-9 µm), de donde nacen los conidios lisos o ligeramente verrucosos, elipsoidales (de 2,5-3,5 µm) formando cadenas sin ramificar con un aspecto característico de penacho o pincel.

c) *Penicillium citrinum*

Es una especie de moho ubicuo mesófilo, produce la toxina llamada citrina y el ácido penicílico. Debido a la amplia presencia de hongos en el medio ambiente, las micotoxinas se consideran contaminantes que no se pueden evitar en los alimentos y en los forrajes.

d) *Penicillium commune*

Penicillium commune, se encuentra con frecuencia en diversos granos, (Peterson *et al.* 2000). *P. camemberti*, un hongo domesticado derivado de *P. commune* (Pitt *et al.* 1986), es capaz de sintetizar las micotoxinas en ácido ciclopiazónico. La capacidad de *P. commune* a crecer y producir ácido ciclopiazónico en actividades del agua son de: 0.99 a 0.90

e) *Penicillium digitatum*

Penicillium digitatum es el agente causal de la podredumbre verde de los frutos cítricos y constituye uno de los patógenos más importantes durante la postcosecha de los mismos, llegando a causar hasta el 80 % de las podredumbres. Aunque el control de este patógeno se realiza en la actualidad con fungicidas químicos, existe una tendencia al abandono de los mismos y al empleo de estrategias alternativas de control. La inducción de resistencia natural en los frutos constituye una de estas alternativas.

f) *Penicillium expansum*

Se trata de un moho de color azul-responsable de la descomposición de postcosecha de manzanas (Janisiewicz W, 1999). Este hongo también produce el metabolito carcinogénico patulina (Morales H. *et al.* 2007).

g) *Penicillium islandicum*

Es una especie que produce islanditoxina, el cual es un péptido cíclico que contiene cloro, hepatotóxico.

h) *Penicillium roquefortii*

La roquefortina C de *P. roquefortii*, sustancia de baja toxicidad, también es formada por *P. expansum*.

i) *Penicillium verrucosum*

Esta especie de hongo se encuentra casi exclusivamente en los cereales de las zonas templadas. Debido a que las ocratoxinas son solubles en grasa y no se excretan fácilmente, se acumulan en los depósitos lipídicos de los animales, esta especie si se incorpora a la dieta de animales monogástricos puede causarle la muerte por degeneración renal y pasa al hombre cuando consume al animal afectado (Pitt 1997).

2.2.4 *Alternaria*

El género *Alternaria* contiene especies cosmopolitas que se encuentran en un amplio rango de materiales y productos. Como saprobias pueden deteriorar alimentos y forrajes, produciendo compuestos biológicamente activos tal como micotoxinas. Otras serían las patógenas que reducen el rendimiento de las cosechas o afectan a los vegetales almacenados. Es necesaria una identificación precisa de las especies porque cada nombre entraña un conjunto de características (preferencias para el crecimiento, patogenicidad, producción de metabolitos secundarios) que permiten predecir el comportamiento del hongo (Andersen *et al.* 2001).

Es común observar en los hongos una plasticidad morfológica. Cuando las especies de *Alternaria* crecen en medios ricos y en la oscuridad bajo condiciones ambientales no controladas, se forma un exceso de micelio aéreo que afecta al desarrollo tridimensional de la

esporulación. Al hacer las preparaciones húmedas se destruyen las estructuras y como resultado sólo se observan conidios (Andersen *et al.* 2001).

Alternaria crece sobre el trigo almacenado si los granos tienen una humedad del 22 - 23% (Swanson 1987). La producción óptima de altenueno, alternariol y alternariol monometil éter es a 25°C con una actividad del agua de 0,98 sobre granos de trigo, mientras que la producción máxima de ácido tenuazónico por *A. tenuissima* es a 20°C y una actividad del agua muy próxima a 1,0 (Moss 1991). El agregado de benzoato de sodio y sorbato de potasio al substrato en cantidades mayores que 10 mg/kg inhiben el desarrollo de *Alternaria* y la producción de ácido tenuazónico (Trucksess 2001).

2.2.5 Cladosporium

Cladosporium es un género de hongos que incluyen algunas estructuras internas y externas más comunes. Estos hongos producen colonias de color verde oliva, marrones o negras. Muchas especies de *Cladosporium* comúnmente son encontradas en algunas plantas vivas o incluso en materiales vegetales muertos. Los *Cladosporium* producen esporas que pueden ser dispersadas por el viento, esta especie puede reproducirse en ambientes con alta humedad.

2.2.6 Claviceps

Es un hongo parásito que consta de más de cincuenta especies. Todas ellas pueden afectar a una gran variedad de cereales aunque su huésped más común es el centeno. Las infestaciones de este hongo causan la reducción de producción en calidad y cantidad de grano y heno y, si estas cosechas infectadas se utilizan para alimentar al ganado, pueden provocar una enfermedad llamada ergotismo.

2.2.7 Pythium

Muchas especies de *Pythium*, junto con sus parientes cercanos, *Phytophthora*, son patógenos de plantas de importancia económica en la agricultura. *Pythium* ocasiona la podredumbre común de las raíces de las plantas. Esta es una enfermedad muy común en los invernaderos,

donde el organismo mata a las plantas en los semilleros recién plantados (Jarvis, 1992). Esta enfermedad por lo general implica relaciones complejas con otros hongos como *Phytophthora* y *Rhizoctonia*.

Los daños ocasionados por *Pythium* se limitan a un área de los cultivo. Esto se debe a la poca movilidad de las zoosporas, que necesitan una superficie de agua para trasladarse y a la capilaridad de las partículas del suelo, que tienden a actuar como un filtro natural. En los sistemas hidropónicos en invernaderos, donde las plantas de extensos monocultivos se mantienen en solución nutritiva (que contienen nitrógeno, potasio, fosfato y micronutrientes) que se recircula continuamente en los cultivos, *Pythium* puede causar una extensa y devastadora podredumbre de las raíces (Jarvis, 1992; Owen-Going, 2002, Owen-Going *et al.*, 2003). La podredumbre de las raíces afecta a todo el cultivo (decenas de miles de plantas, en muchos casos) en un plazo de dos a cuatro días (Owen-Going, de 2002, Owen-Going *et al.*, 2003).

2.3 Micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por ciertas especies de hongos al final de la fase de crecimiento, cuando han infestado productos agrícolas, especialmente del tipo de los cereales o los frutos secos.

Se han descrito un gran número de reacciones patológicas en animales domésticos y de granja debido a las micotoxinas. Los problemas principales que plantean estas moléculas son, por una parte su potente efecto a concentraciones muy bajas junto con su resistencia elevada al calor con el que se esterilizan los alimentos. Tienen una amplia gama de acciones que van desde las carcinogénicas, mutagénicas o teratogénicas hasta llegar a ser unos importantes agentes inmunosupresores. Los hongos se desarrollan y producen micotoxinas cuando encuentran condiciones favorables en el medio, tales como humedad del grano superior al 13 %, humedad relativa del aire por arriba del 70%, temperatura mayor a 20°C, presencia de nutrientes apropiados, pH >5 y presencia de oxígeno. El asentamiento del hongo también se ve favorecido por los daños que los insectos o los pájaros hacen al grano, haciendo pequeñas erosiones que facilitan la penetración del hongo (Fernández *et al*; 2002).

2.3.1 Micotoxinas de importancia mundial

La importancia de las micotoxinas empezó a ser evidente desde que se descubrió que la aflatoxina B1, molécula producida por el hongo *Aspegillus flavus*, causó la muerte masiva de aves de corral en Inglaterra en los años sesenta y su interés se refleja en la gran cantidad de estudios, más del 25 % de la producción mundial de cereales y materias primas destinadas al consumo humano y animal, están contaminados con algún tipo de toxina de origen fúngico y entre el 25 y 40 % de estos cereales están contaminados con varios tipos de micotoxinas, además estas micotoxinas inciden dependiendo de la zona geográfica (Lawlor & Lynch, 2001) (ver Cuadro 6). Sin embargo, en ciertas regiones algunas toxinas se producen mas fácilmente que en otras, aunque la irregularidad meteorológica y los cambios climáticos han hecho que se encuentren especies de hongos donde antes no se encontraban (Asero & Suquilanda, 2007).

Cuadro 5. Principales Micotoxinas (Fernández *et al*; 2002).

MICOTOXINAS	HONGOS	SINDROME
Aflatoxinas B1, B2, G1 y G2	<i>A. flavus, Aparasiticus</i>	Hepatotóxico, nefrotóxico, inmunotóxico
Aflatoxina B1, B2	<i>A. flavus</i>	
Toxina T- 2	<i>Fusarium</i>	
	<i>Sporotrichioides</i>	
Zearalenonas	<i>F. roseum, F. graminearum</i>	Estrogénicos
Fumonisinias	<i>F. moliforme</i>	Hepatotóxicos, nefrototóxico
	<i>F(F. verticillioides)</i>	
Ocratoxinas	<i>A. ochraceus,</i> <i>A. Fumigatus,</i> <i>P. verrucosum</i>	Nefrototóxico, poco patógeno para ovino
Ergotismo	<i>Pithomyces chartarum</i>	Eczema facial
Esiaframina	<i>Rhizoctomia Leguminicola</i>	Parasimpático-mimético, salivar
Estaquiobotriotoxina	<i>Stachybotrys alternans</i>	Ulceras en la boca

Cuadro 6. Incidencias de Micotoxinas según Zonas Geográficas (Lawlor & Lynch, 2001).

Localidad	Micotoxinas
Oeste de Europa	Ocratoxinas, Desoxinivalenol, Zearalenona Zearalenona, Desoxinivalenol
Este de Europa	Ocratoxinas, Desoxinivalenol, Zearalenona, Aflatoxinas
Norteamérica	Aflatoxinas, Fumonisimas, Ocratoxinas, Desoxinivaleno
Sudamérica	Toxina T-2
África	Aflatoxinas, Fumonisimas, Zearalenona
Asia	Aflatoxinas
Australia	Aflatoxinas, Fumonisinas

2.3.2 Tipos de micotoxinas

Seis grupos de micotoxinas son producidos por los tres géneros principales de los hongos: *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (Yiannikouris & Jouany, 2002). Aunque existen unas 300 micotoxinas que han sido aisladas y químicamente caracterizadas (Betina, 1984), las investigaciones se han centrado en aquellas formas que causan daños significativos al hombre y a los animales de granja y de compañía. Estas micotoxinas son las aflatoxinas, ocratoxinas, tricotecenos, zearalenona, fumonisinas, patulina, citrinina, toxinas tremogénicas y alcaloides ergóticos (Pittet, 1998) (Cuadro 7).

a) Aflatoxinas

Las aflatoxinas son un grupo de metabolitos secundarios producidos por *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*, cuando estos hongos crecen en diversos cereales. Las más comunes son las aflatoxinas (B, B1, B2 Y B2a). De estas cuatro aflatoxinas existentes, la más importante es la B1 debido a su capacidad carcinogénica y mutagénica. Además, su presencia en alimentos para humanos y animales está correlacionada con cáncer hepático y muerte, i.e. en el 2005 en Kenia se reportaron 125 individuos muertos por ingestión de alimento contaminado con aflatoxina (Lanyasunya *et al.*, 2005); y con supresión del sistema inmune y baja eficiencia

terminal en la producción pecuaria (Task Force Report, 2003). El maíz se contamina tanto en campo como en almacén y los factores determinantes para la síntesis de AFB1 en ambas circunstancias son: temperatura 28°C, humedad relativa de 85%.

Cuadro 7. Tipos de micotoxinas que producen los hongos *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Claviceps*.

Hongo	Toxina
<i>Aspergillus</i>	Aflatoxinas Sterigmatocistina Ocratoxina A
<i>Fusarium</i>	Tricotecenos (DON, nivalenol, toxina T2, DAS) Zearalenonas Fumonisinias Fusaria Moniliformina
<i>Penicillium</i>	Patulina Citrina Ocratoxina A
<i>Claviceps</i>	Alcaloides

Son una de las micotoxinas más importantes y frecuentes que afectan a los animales domésticos y que se tienen comprobados los efectos tóxicos. Las aflatoxinas están producidas por distintos hongos del género *Aspergillus* principalmente *A. flavus* y *A. parasiticus* que crecen sobre cereales, principalmente maíz (Knass, 2005).

El riesgo de la contaminación de aflatoxina es mayor en las zonas tropicales húmedas. Por otro lado la producción de las toxinas esta asociada al uso inadecuado del preservativo del ácido propiónico al grano en almacenaje húmedo (Denli & Pérez, 2006).

Las aflatoxinas son depresores de la función inmune. Los primeros síntomas de un problema de aflatoxina es la disminución del apetito, el animal lo pierde de tres a cuatro días después

de que se alimenta, dependiendo de los niveles de contaminación, las pérdidas pueden resultar en poco crecimiento y muertes. Estas toxinas atacan el hígado, donde se metabolizan productos que pueden ser tóxicos o no, pero también ejercen sus efectos sobre los demás órganos del animal (Gimeno, 2002). Ver figura 1

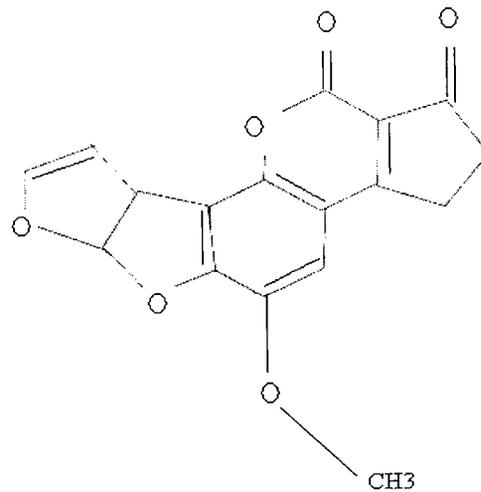


Figura 1. aflatoxina B1

Durante muchos años se consideró que el ganado ovino era bastante resistente a esta intoxicación, pero estudios experimentales han demostrado lo contrario. Los síntomas que se observan dependen de la dosis, tiempo de exposición y edad de los animales y el estado nutricional del animal. En general, en intoxicaciones subagudas y crónicas, los síntomas no son específicos, observándose solo anorexia, apatía y pérdida de peso si la intoxicación se prolonga. El problema se observa cuando disminuye el peso vivo y empeora el índice de transformación (Fernández *et al*, 2002).

Esta toxina actúa en relación al tiempo y la edad del animal ya que es un factor importante en la susceptibilidad, niveles superiores a 0.5 ppm en las dietas de cerdas lactantes disminuye las tasas de crecimiento en las crías debido a la aflatoxina que contiene la leche. Para los cerdos que están en desarrollo, las tasas de crecimiento disminuyen a concentraciones superiores a 0.2 ppm y los residuos se acumularan en el hígado en concentraciones incluso de 0.1 ppm en la alimentación. Los suplementos que se han administrado para reducir el efecto de la

toxicidad de la aflatoxina, son: licomicina y tilosina, vitamina E y metionina no han sido acertados (Lawlor & Lynch, 2001).

Toxicidad de las aflatoxinas. Las aflatoxinas son potentes carcinógenos, mutagénicos y teratogénicos, son grandes agentes destructores del sistema hepático.

Las especies más susceptibles a la toxicidad aguda son: los conejos, los gatos, los perros, los pavos, las truchas, los cerdos pequeños (Cuadro 8).

Cuadro 8. Dosis Letal 50 mg/Kg Oral de Aflatoxinas.

Especie Animal	DL50 mg/Kg oral
Pavos	0,335
Conejos	0,3
Cerdos	0,62
Ovino	1,0
Vacuno	2
Gallo y Gallina	20
Ratas macho	7,2
Ratas hembras.	17,9

Los más resistentes son el mono, el salmón, los ratones, los pollos blancos de 16 semanas.

Otras especies como los equinos, los bovinos, los cerdos grandes, los ovinos y las cabras son moderadamente sensibles.

Principales efectos tóxicos. En animales de granja, las aflatoxinas provocan una disminución en el crecimiento, disminuyen la eficiencia alimentaria, deprimen la respuesta inmunológica y eventualmente pueden llegar a causar la muerte (por ejemplo son concentraciones letales de 5-15 ppb para las especies avícolas). En definitiva, menor producción.

En el hombre se ha demostrado una relación causal entre la ingestión de aflatoxinas y el carcinoma hepático primario.

b) Ocratoxinas (OTA)

Son producidas por, al menos siete especies de *Aspergillus* y seis especies de *Penicillium*, especialmente *A. Ochraceus* y *P. Viridicatum*. Se pueden encontrar en granos almacenados. La presencia de OTA se produce en forma natural en una amplia variedad de vegetales como cereales, leguminosas, frutos secos (Denli & Pérez, 2006).

Esta toxina se produce dentro de una gama de temperaturas que van desde los 15-37°C y ocurre a menudo junto con la citrinina. La ocratoxina A es hepatóxica y necrotóxica, causa toxicidad crónica más que aguda y también reduce la producción de leche y aumenta la mortalidad en ganado y animales que son resistentes a la mayoría de otros tipos de micotoxinas predominante en climas frescos y húmedos (Alltech, 2007) ver figura de acratoxina.

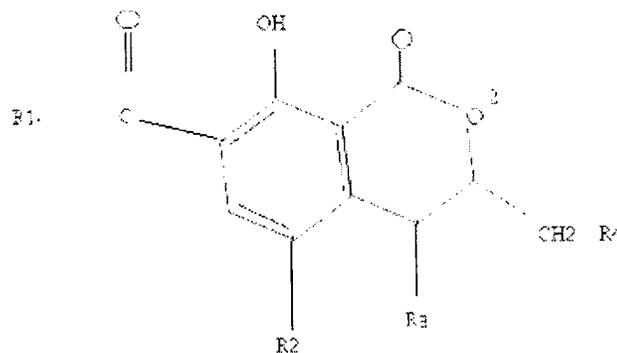


Figura 2. Ocratoxina

Se presentan principalmente en trigo y cebada, por lo general en zonas templadas del hemisferio Norte y es endémico en Suecia y Dinamarca. Las concentraciones significativas pueden ocurrir en las temperaturas de 4 °C, sin embargo, el ganado ovino y los rumiantes son especies muy resistentes a estas micotoxinas pues el líquido ruminal y la flora intestinal hidrolizan la ocratoxina A, a un metabolito no tóxico conocido como ocratoxina alfa (Fokunang, 2007).

Principales efectos tóxicos. Los principales animales afectados son el cerdo y el ganado avícola. En cambio, no afecta a los rumiantes. Las ocratoxinas A y B, entre las que se han descrito, son las más comunes y poseen una potente actividad nefrotóxica y carcinogénica. En experimentos realizados con ratas se ha mostrado que la ocratoxina A inhibe la cadena respiratoria mitocondrial. En Escandinavia y Dinamarca se da la nefropatía porcina micotóxica como enfermedad endémica, cuyo causante es la ocratoxina A; también en otros países se han descrito micotoxicosis similares aunque los estudios epidemiológicos son muy escasos. En Alemania se ha detectado ocratoxina A en un elevado porcentaje de muestras de sangre y riñón de cerdo y en menor proporción en cereales y algunas muestras de leche materna. En humanos parece ser que la ocratoxina A puede ser responsable de ciertos síndromes renales, como la nefropatía endémica balcánica que se da en la población rural de Bulgaria, Rumanía y repúblicas exyugoslavas

c) Trichothecenos o vomitoxina

Esta micotoxina es la más común producida por el genero *Fusarium*, pertenece al grupo de los tricoticenos las cuales inhiben la síntesis de proteínas, y también es una de las más estudiadas por su efecto inmunosupresor, esta considerada como una de las más poderosas que alteran no solo la inmunidad natural, sino que además modifican substancialmente la síntesis y liberación de citoquinas linfocíticas, las cuales son primordiales para el desarrollo normal del proceso inmunológico (Torres y Díaz, 2002).ver estructura de vomitoxina.

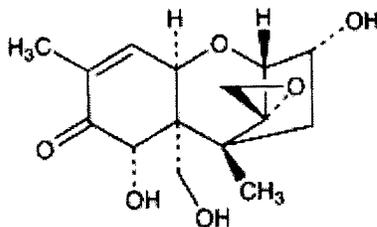


Figura 3. Estructura de vomitoxina

Es el representante más característico y común del grupo de los tricotecenos, moléculas formadas por tres anillos parcialmente fusionados. Son producidos por diversas especies de *Fusarium*, en especial *F. Roseum* y *F. Graminearum*. Normalmente se producen en el campo, durante la infección de diversos cereales (trigo, cebada, maíz y arroz) por estos hongos. Los tricotecenos han sido atribuidos a su potente inhibición de la síntesis de proteínas, ARN y ADN (Liao *et al.*, 1976). Los sitios activos fueron señalados como la porción 9-eno y los ésteres metabólicos formados por los grupos metabólicos formados por los grupos hidroxilos de las sustancias originarias (Ueno *et al.*, 1970).

Hasta hace poco tiempo, la vomitoxina fue utilizada como “marcador” para contaminación de *Fusarium*. Esto ha conducido a problemas en el pasado donde los niveles bajos de la vomitoxina fueron encontrados en alimentos los cuales eran micotoxicosis del *Fusarium* (Yiannikouris & Jouany, 2002).

Efectos tóxicos. Los animales que consumen por varios días altas concentraciones de vomitoxinas se encuentran mas predispuestos a contraer infecciones de origen viral y parasitario; los niveles de 200 ppm (partes por millón), en los cerdos producen vómitos y rechazo total del alimento, en ganado bovino se observa una grave disminución de la producción, con rechazo de alimento, provoca lesiones renales con disminución en la producción de orina en la eliminación de urea (Alvarado, 2004).

Produce unos intensos efectos tóxicos en animales de granja que se traducen en inflamaciones epidérmicas, desórdenes digestivos, hemorragias, afecciones de la médula ósea y neuropatías en el hombre, y principalmente a raíz del consumo de trigo afectado o de cerveza elaborada con productos infectados, esta toxina es la causante de la denominada aleucia tóxica alimentaria, que se caracteriza por una marcada leucopenia. No hay que olvidar que, además, se han detectado moléculas de este tipo en la leche y los tejidos de animales que han consumido piensos infectados. Un problema aún mayor es su posible presencia en preparados a base de cereales para el consumo infantil.

Otro efecto tóxico que puede presentarse con esta toxina incluyen la ruptura de la función y el transporte de la membrana, supresión de la respuesta inmune y función sanguínea anormal (Hussein *et al.*, 2001).

d) Tóxina T-2

Esta micotoxina pertenece al grupo de tricótesenos, producidas por *Fusarium sp*, especialmente *F. tricinctum* y *roseum*, se produce en cereales en muchas partes del mundo y esta asociada a lluvias prolongadas en tiempos de cosecha (Alvarado, 2004).

Este grupo de micotoxinas incluyen el deoxinivalenol, el cual es ocasionalmente detectado en maíz y en trigo. Si los cerdos están hambrientos al ofrecerles el forraje, ellos pueden comer y luego vomitar, ya que el deoxinivalenol es también llamado vomitoxina. Un moho color rojo púrpura (*Fusarium graminearum*) puede infectar trigo, maíz y poroto de soya antes de la cosecha, produciendo micotoxinas, a menudo en conjunción con la Zearalenona.

Hay otros tricótesenos, incluyendo la toxina T 2 y la HT2, las cuales pueden afectar potencialmente a los cerdos. El mayor efecto de estas toxinas sobre el ganado y las aves es la formación de lesiones bucales y efectos neurotóxicos en aves de corral así como la pérdida del apetito, además estas toxinas son consideradas como una causa de rechazo al alimento por parte de los animales (Ferrer, 2001).

Principales efectos tóxicos de la toxina T-2. La toxina T-2 y sus derivados hidroxilados y acetilados tienen efectos citotóxicos e inmunodepresores, por lo cual constituyen un riesgo para la salud humana. De todas formas, aunque en algunas instalaciones pueden encontrarse niveles de T-2 superiores a 500 ppb, con consecuencias muy graves sobre los animales, se ha demostrado que en la leche se acumula una concentración inferior al 1% de la presente en el forraje, con lo cual esta micotoxina constituye básicamente un problema de salud animal.

e) Zearalenona

Es un compuesto con una estructura estrechamente relacionada a metabolitos estrogénicos producida muchas veces junto con los tricotecenos, por especies que colonizan los granos: *F.*

graminearum, *F. culmorum*, *F. crookwellense*, *F. heterosporum* y *F. equiseti*. Es débilmente fitotóxica y produce hiperestrogenismo y problemas reproductivos en el ganado y animales de experimentación. Aunque esta molécula, denominada a veces fitohormona ya que posee efectos estrogénicos en mamíferos, ya representa un peligro, la mayor atención se ha centrado en los derivados que se producen a partir de su metabolización en animales de granja, éstos transforman la zearalenona en α y β -zearalenol. El α -zearalenol posee unos efectos estrogénicos 10 veces superiores a la zearalenona. Tanto estos productos como otros derivados (zearalanol o zeranol) se han utilizado como promotores del crecimiento en animales de carne debido precisamente a sus efectos estrogénicos y anabolizantes. Ya que se ha demostrado que, además, estos derivados tienen efectos carcinogénicos, su uso está prohibido en todos los países de la Comunidad Europea.

La dosis oral letal media (DL50) para lauchas (ratón de laboratorio) es 2 mg/g de peso corporal y para ratas 4 mg/g (Eriksen *et al.* 2000).

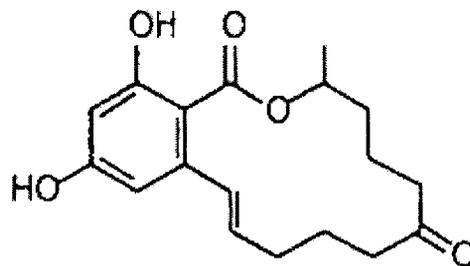


Figura 4. Estructura de Zearalenona

Las condiciones favorables para su producción son la alta humedad y bajas temperaturas, a pesar de ser muy diferentes estructuralmente al estrógeno, posee una fuerte actividad estrogénica, en cerdas en etapa de pubertad son más sensibles a la acción de zearalenona (ZEA), ya que puede ocasionar prolapso vaginal, el sistema genital inmaduro de estos animales sufre grandes cambios al ser expuesto a zearalenona (Alvarado,2004) esta micotoxina puede alterar la funcionalidad reproductiva de los animales (Denli & Pérez, 2006).

Esta micotoxina produce hiperestrogenismo, cuyos síntomas varían dependiendo de la especie animal, sexo y edad. Los animales adultos presentan edematización e hiperemia de los genitales. A veces puede haber aborto, letargia, anemia, y prolapsos de la vagina o del recto. Las ovejas tienen una tasa de ovulación reducida y se incrementa la duración del estrógeno (Fokunang, 2007). En un estudio realizado en Nueva Zelanda, encontraron que la zearalenona en forraje causa infertilidad en ovejas (Scudamore & Livesey, 1998).

f) Fumonisina

Bajo este nombre se denomina una serie de micotoxinas descubiertas recientemente (1989), son micotoxinas producidas por hongos del género *Fusarium*, *F moniliforme* principalmente B1, B2 y B3 son los compuestos principales que están presentes en los cultivos de maíz. Aunque B2 y B3 en menor concentración que B1. El nivel está influenciado por los factores ambientales como la temperatura y la humedad, asociado a un tiempo caluroso y seco seguido de un periodo de alta humedad, y condiciones de almacenamiento (Denli & Pérez, 2006).

Diversos estudios indican una elevada frecuencia de fumonisinas en cereales y granos, especialmente en el maíz y sus derivados. Parece ser que los efectos tóxicos pueden empezar a detectarse a partir de una concentración de fumonisinas de 5 a 10 ppb: en productos contaminados han llegado a detectarse niveles de más de 1000 ppm. No existen estudios sobre la peligrosidad de estas moléculas en la salud humana; se ha demostrado, en cambio, que son unos potentes cancerígenos.

Los granos atacados por insectos tienen más nivel de la toxina (los maíces transgénicos resistentes al barrenador del tallo tienen menor incidencia) debido a los daños y podredumbre que los insectos producen sobre el maíz facilitado la entrada del hongo. (Torres & Díaz, 2002). ver figura 5.

El desarrollo del hongo y la producción de la toxina acontecen durante el crecimiento, cosecha, almacenaje y procesado del maíz. Afectan fundamentalmente caballos, aves, y cerdos. Su presencia se ha relacionado con la aparición de diferentes síndromes como: la

g) Patulinas

Esta es una micotoxina producida por varios hongos. Es un antibiótico que está presente, por ejemplo, en manzanas podridas contaminadas con *Penecillium expansum*, y por consiguiente, puede estar presente en jugo de manzana y otros productos.

A. clavatus se encuentra frecuentemente en el suelo, maíz, soja y avena. Algunos hongos productores de esta micotoxina pueden desarrollarse por debajo de los 2 °C. *P. patulatum* y *P. espanxum* se han desarrollado con 0,83 y 0,81 de actividad hídrica, respectivamente. La producción de patulina se ve favorecida cuando el medio tiene un pH de entre 4,5 y 5 (Jurado, 1989; Jay 2003). Otras especies de hongos productores de patulinas son *P. claviforme*, *P. patulum*, *Aspergillium clavatus*, *A. terreus*, *Byssochlamys nivea* y *B. fulva* (Jay, 2003).

Principales Efectos. Esta micotoxina inhibe la germinación de semillas, y posee acción antimicótico, por lo que se le ha empleado para combatir hongos en el trigo. En vacas intoxicadas se observa una descoordinación en sus movimientos, a veces temblores y excitación, parálisis y caídas (Jurado, 1989). Es una neurotoxina, produce lesiones anatomopatológicas graves (FAO, 2003). Ver figura 6.

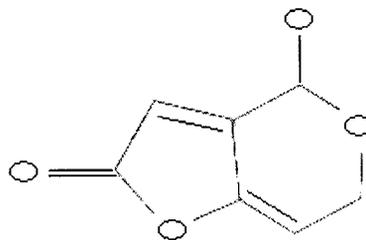


Figura 6. Estructura de una Patulina

h) Citrinina

Esta toxina es inestable si se expone durante períodos prolongados al calor o a la luz. Tiene propiedades antibacterianas, lo mismo que el ácido penicílico.

2.4 Métodos de control de enfermedades

2.4.1 Biofungicidas

Muchos han sido los organismos que de manera experimental han sido aislados y se ha probado su actividad fúngica, aunque no todos han desarrollado un producto comercial. En general son productos formulados a base de bacterias u hongos.

a) Hongos: existe un considerable trabajo realizado con *Trichoderma* y *Gliocladium* debido a su fácil aislamiento, cultivo y fermentación a gran escala. Otros hongos como *Ampelomyces quisqualis* Cesati ex Schlecht., *Fusarium oxysporium* Schlecht., *Phytium oligandrum* Drechler, *Coniothyrium minitans*.

2.4.2 Biobactericidas

Hasta el momento solamente existen productos basados en bacterias como ACB para el control de enfermedades bacterianas.

a) Bacterias: *Agrobacterium radiobacter* (Beijerinck y van Delden) con cepa K86 empezó a comercializarse en 1973 para el control del tumor de cuello causado por *Agrobacterium tumefaciens* (Smith y Townsend). Su control se debía a la presencia de agrocina 84 y 434. La producción de agrocina 84 es codificada por un plásmido (pAgK84) que también contiene genes que codifican para la resistencia a la agrocina 84 y a la transferencia por conjugación (Tra). Con el fin de prever la conjugación y transferencia del gen que de la resistencia a agrocina al patógeno, transformándolo en resistente, la empresa australiana Bio-Care Technology desarrolló en 1991 una cepa genéticamente modificada sin el gen Tra, comercializándose como nogallo (Wilson & Backman, 1998; Penyalver y colaboradores, 2000)

Pseudomonas fluorescens se aplica en forma de spray para combatir *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow en frutales y hortícolas, así como los efectos provocados por heladas (Jill, 2006).

2.5 Prevención de la contaminación por hongos micotóxicos

La prevención de la producción de micotoxinas en los forrajes y granos implica un control de la biosíntesis de la toxina y el metabolismo de los hongos en el campo. El manejo adecuado de los forrajes verdes se considera un método ideal de control de la contaminación tanto en la producción como en la cosecha de éste. Sin embargo, en la práctica es difícil controlar factores ambientales como la temperatura y la humedad en la producción de forraje verde (Torres y Díaz, 2002).

2.6 Estrategias para prevenir el crecimiento de hongos en el forraje verde

- Reducir el estrés sufrido por la planta
- Control de insectos dentro de los módulos
- Eliminación de residuos dentro del módulo
- Utilización de adsorbentes
- Control medioambiental de conservación: la humedad, contenido o exceso de agua dentro de charolas, presión de oxígeno y temperatura.
- Control de insectos y roedores, ya que algunos son portadores de hongos.
- Separar todos los granos partidos y forrajes dañados antes de la siembra
- Utilización del ácido propiónico como agente antifúngico (Denli & Pérez, 2006).

2.7 Control y eliminación de hongos en forraje verde hidropónico

Los principales factores que se deben de controlar para evitar la producción de micotoxinas son: temperatura (cada hongo tiene un rango de temperaturas en los cuales puede producir la toxinas), humedad (los hongos requieren menos humedad para el crecimiento que las bacterias o levaduras). Los valores óptimos de producción de micotoxinas por lo hongos es el rango de actividades de agua de 0.93 -0.98. El pH del sustrato también puede afectar la producción de micotoxinas. Generalmente la producción de toxinas se ve favorecida por condiciones de pH en el rango de 3.4- 5.5 tomando en cuenta también el sustrato; alimentos

ricos en carbohidratos favorecen más la producción de toxinas. Sin embargo, también pueden producir toxinas en sustratos relativamente ricos en proteínas o grasa.

Estas medidas incluyen:

- Examinar el forraje para detectar la presencia de micotoxinas
- Poca humedad en el forraje. Los niveles de humedad ideales no deberán exceder el 12% en el grano.
- Mantener el alimento fresco. El crecimiento fúngico toma tiempo y en el alimento almacenado puede ocurrir dependiendo de la temperatura ambiental y los niveles de oxígeno de éste.
- Mantener el equipo limpio. Esto es importante ya que no solo nos aseguramos de controlar los hongos y por consiguiente las micotoxinas, si no también nos libramos de bacterias patógenas.
- Mantener el grano intacto hasta un secado adecuado. El crecimiento de hongos es más común en los granos dañados procesados.
- Mantener limpios los equipos de elaboración y manipulación del alimento, efectivos para la inhibición del crecimiento fúngico, pero no para las micotoxinas. El buffer del ácido propiónico tiene la ventaja de ser menos cáustico para el equipo, más estable y efectivo para periodos largos de tiempo que los ácidos de sales o ácidos libres. La razón de efectividad es que el buffer del ácido propiónico no se volatiliza en el almacén antes de ser aplicado. Lo que permite más consistencia y mayor duración de la inhibición (Torres y Díaz, 2002).
- Usar microorganismos biológicos los cuales son bacterias lácticas como (*Saccharomyces cereviceae*). Las cuales se utilizan en la fermentación de los alimentos, ya que poseen estructuras de pared con capacidad de adherir micotoxinas (Shetty & Jesperen, 2006).
- Una amplia variedad de sustancias químicas se han estudiado para la eliminación de algunas micotoxinas, entre estas sustancias se puede mencionar el uso de amoníaco, formol, hidróxido de calcio, bisulfito de sodio, ozono, cloro, monometilamina, sin embargo, el método de aplicación de amoníaco es el que ha recibido mayor atención para la eliminación de aflatoxinas y se ha usado en los Estados Unidos y Europa.

En la actualidad el método más aplicado para proteger a los animales contra las micotoxinas es la utilización de los absorbentes mezclados en la alimentación y que se suponen atrapan las micotoxinas eficientemente en la zona gastrointestinal, la utilización de los adsorbentes de las micotoxinas en el sistema digestivo se considera el mejor método para la protección de los animales frente al consumo de ingredientes contaminados.

2.7.1 Uso de absorbedores

Un absorbente de micotoxinas es un material inerte, capaz de fijar a su superficie la micotoxina y salir del organismo junto con las heces. El absorbente evita que la micotoxina sea absorbida por el animal y evita así el efecto tóxico de ella. Los sustratos más utilizados como los aluminosilicatos (zeolitas naturales, clinoptilonitas, aluminosilicatos de sodio y calcio hidratados (HSCAS), bentonitas naturales), seguidos del carbón de leña activado y los polímeros especiales, dependen principalmente de la estructura química del absorbente y la toxina (Huwig *et al*; 2001).

Algunos absorbentes como la colestiramina y polivinilpirrolidona tienen capacidad de adhesión de la aflatoxina B1 y ocratoxina A, sin embargo se debe también destacar el riesgo de que algunos absorbentes pueden fijar algunos micronutrientes y reducir la disponibilidad de algunos minerales y vitaminas (Yannikouris & Jouany, 2002).

2.7.2 Aluminosilicatos hidratados de sodio y calcio

Los aluminosilicatos comprenden una familia muy grande de minerales con diferentes propiedades de superficie, pero generalmente del tipo hidrofílica. Este tipo de absorbentes tiene una alta afinidad por aflatoxinas. Han demostrado ser bastante eficaces frente a las aflatoxinas a dosis entre el 0.5 y el 2 %, pero muy baja para toxinas de menor polaridad como la zearalenona, e incluso la ocratoxina A. no todos los compuestos de esta familia tienen la misma capacidad para secuestrar micotoxinas, por lo que es importante conocer su actividad real. Esta actividad importante determinarla *in vivo* puesto que la unión micotoxina – absorbente puede verse afectada por los distintos pH y condiciones a los que se ve sometida a

lo largo del sistema digestivo. De hecho, en algunos casos incluso se ha detectado un aumento de la toxicidad in vivo utilizando absorbentes que habían demostrado una buena capacidad de absorción *in vitro* (Huwig *et al*; 2001).

2.7.3 Amonio

La aspersión con amoníaco, a veces puede ser eficaz pero no siempre son baratos y también puede destruir los nutrientes. Cuando se formulan minuciosamente las raciones comerciales, cualquier aditivo empleado para controlar la contaminación por micotoxinas debe tener una proporción baja de inclusión para prevenir una reducción en el volumen de nutrientes de la dieta. Es vital que los aditivos no-nutritivos del alimento ocupen tan poco espacio como sea posible en la fórmula (Torres & Díaz, 2002).

2.7.4 Arcillas

Varios productos se adjudican la propiedad de reducir la actividad de las micotoxinas en los alimentos animales. Algunas bentonitas y otras arcillas de aluminosilicatos absorben micotoxinas en el intestino previniendo su absorción. Las arcillas ligan las micotoxinas a través de cargas electrostáticas. Sin embargo, no todas las micotoxinas tienen cargas electrostáticas, lo que hace difícil ligarlas de esta manera. Aún cuando los ligandos para las arcillas minerales empleadas satisfacen algunos de los criterios para un sistema de reducción de micotoxinas exitoso, estos tienen algunas limitaciones serias. Primero, estos solo ligan un espectro muy corto de toxinas y ofrecen protección limitada contra toxinas como zearalenona o tricótesenos. Segundo, tienen una tasa alta de inclusión, generalmente más del 1 % de la dieta (Alltech, 2007)

2.7.5 Carbón de leña activado

El carbón de leña activado que es formado por la pirólisis de materiales orgánicos es un polvo insoluble muy poroso con una superficie alta para formar M₂/g en un rango de (500 – 3500 ppm). Desde el siglo XIX se ha utilizado como antídoto contra el envenenamiento. Por lo

tanto, puede ser que también inactive a las micotoxinas. En la solución acuosa, puede fijar la mayor parte de las micotoxinas por eficientemente eficiente mientras que diversos carbones de leña activados tienen menos o ningún efecto contra la micotoxicosis. Esto puede ser debido al hecho de que el carbón de leña activado es un absorbente relativamente no específico y, por lo tanto, los alimentos esenciales también están fijados por absorción particularmente si sus concentraciones en la alimentación son mucho más altas comparadas a las de la micotoxinas. En otros ensayos con cabras, si embargo, fue demostrado que altas dosis del carbón de leña activado son beneficiosas en situación aguda referente a altas cantidades de aflatoxinas (Huwig *et al* 2001).

2.7.6 Colestiramina

Es una resina del intercambio de aniones que se utiliza para el bloqueo de los ácidos de la bilis en el aparato gastrointestinal para la reducción de las lipoproteínas y del colesterol de baja densidad. La colestiramina tiene un efecto muy pequeño para reducir la concentración de la ocratoxina en la sangre, la bilis y los tejidos finos (Huwig *et al*, 2002).

2.7.7 Crospovidona (polivinilpirrolidona)

Otro absorbente el cual es un polímero anfotérico altamente polar a la absorbancia in vitro el cual fue medido como 0.3 mg/g para la zearalenona. Hasta ahora, este polímero no se ha probado en vivo pero podría ser una alternativa (Huwig *et al*, 2001).

2.7.8 Sulfatos

Un estudio actual ha descubierto el sulfato, como una sustancia, la cual tiene características que inhiben el ataque de los hongos. El uso de este producto no sólo inhibe crecimiento el hongo si no que también provee a la planta de elementos minerales esenciales para su desarrollo (Monney, 2002).

2.8 Análisis para la detección de las Micotoxinas

Existe un sistema para la detección de las micotoxinas llamado análisis de peligros y punto de control crítico (APPCC). También conocido como Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) se basa en la implementación de un sistema de un Manejo Integrado de Micotoxinas con el objetivo de mantener un estricto control sobre la seguridad de los alimentos. Este sistema debe estar diseñado con el fin de minimizar la contaminación de los alimentos por medio de la identificación de los riesgos y el establecimiento de una adecuada motorización y prueba de los mismos.

III. ESTADO DEL ARTE

Los hongos juegan un papel importante como contaminantes, en particular aquellos capaces de producir metabolitos secundarios tóxicos (micotoxinas) (Samson *et al*, 2000).

Los problemas ocasionados por los hongos en forrajes almacenados han sido poco estudiados hasta el momento. Sin embargo, en todo el mundo, especialmente en regiones de clima cálido templado, se ha informado sobre problemas de micotoxicosis como consecuencia de la ingesta de los mismos (Galan, *et al*, 2003).

Si bien las micotoxinas no son consideradas problemas mayores en la salud de los rumiantes, se sabe que son causa de reducción en la productividad y ocasionalmente, de muerte. El reconocimiento de micotoxicosis es extremadamente difícil de diagnosticar y el problema se agudiza por falta de protocolos estructurados para el análisis de casos sospechosos, lo que puede agudizar el problema, ya que las micotoxinas podrían pasar a los productos derivados, con el consiguiente riesgo para la salud humana (Galan, *et al*, 2003).

Los primeros casos de micotoxicosis conocidos fueron encontrados en centeno contaminado con *Claviceps purpurea*, en la Edad Media. En 1912 Quevedo, en la Argentina, describió la acción de los metabolitos tóxicos de un *Aspergillus* del maíz en varias especies de animales, lo que constituye la primera observación científica de las micotoxicosis en Sudamérica. En 1960 la intoxicación masiva de pavos en Inglaterra llevó al aislamiento de las aflatoxinas, llamadas así pues son producidas por especies del grupo *Aspergillus flavus* (Lillehoj 1991).

La mayoría de las investigaciones referentes a las micotoxinas en forraje verde hidropónico parecen haber tomado auge a principios de abril de 2003, cuando se detectaron serios problemas de contaminación en forraje verde hidropónico tras la muerte de varias ovejas en granjas de Queensland, Australia causadas por los hongos del genero *Aspergillus*, presentándose como resultado de un incidente relacionado con la contaminación del forraje verde hidropónico (Sneath & McIntosh, 2003).

Actualmente en el Centro de Investigación en Química Aplicada se lleva a cabo una serie de investigaciones relacionadas con el control de hongos micotóxicos en forraje verde hidropónico. En el presente año se hizo análisis de una muestra de forraje y se detectaron presencia de algunos hongos fitopatógenos que pueden causar problemas al ganado como son: *Fusarium graminearum*, *Alternaria sp.*, *Aspergillus sp.*, *F. graminearum*, *F. moniliforme*, *F. culmorum*. Cabe mencionar que los estudios más recientes llevados a cabo no hay un resultado concreto o exitoso para el control de las enfermedades producidas por hongos, ya que cada investigador ha estudiado una micotoxina de manera individual.

Este ensayo se realizó con la finalidad de dar a conocer la importancia del manejo del forraje verde hidropónico para el control de las micotoxinas y evitar daños tanto en ganado como problemas serios en la salud humana.

IV. AREAS DE OPORTUNIDAD

México tiene una amplia tarea para seguir con investigaciones más a fondo acerca del control de hongos en el forraje verde hidropónico; así como investigar más acerca de los límites permisibles para un ganado sin causar daño a la salud, hacer estudios y análisis del animal para saber que toxina es la que le hace daño.

Tomar en cuenta los factores mencionados como la ventilación, el riego y sobre todo el uso de semilla de calidad para evitar mayores problemas con los hongos. Se sabe que las próximas investigaciones apuntan sobre una alternativa más para el campo agrícola mexicano, un camino con mejores soluciones que se puedan encontrar como el ganado de engorda por falta de forraje, alimento para ave, ovejas, etc.

Por otro lado mientras no se consideren las micotoxinas como un problema en la salud animal y humana en el mundo, los efectos negativos que se tienen en la productividad seguirán siendo importantes.

V. CONCLUSIONES

Podemos señalar que las condiciones ambientales influyen considerablemente en la presencia de enfermedades fungosas del forraje verde hidropónico. Estas enfermedades además de representar pérdidas para el sector ganadero representan un riesgo para la salud humana. Bajo estas condiciones es prioritario establecer estrategias de control y tratamientos que reduzcan la presencia y el impacto de las micotoxinas sobre la producción animal. Sin embargo, las posibilidades actuales de eliminar estos riesgos son limitadas; lo que hace necesario continuar trabajando sobre la idea de encontrar nuevos productos que inactiven o bloqueen las micotoxinas en el tracto digestivo de los animales.

El problema real de la contaminación de hongos es por el control de humedad aunado a la temperatura los cuales son factores en los cuales se debe hacer mayor énfasis para evitar daños fitosanitarios.

Los riesgos asociados a la salud han sido en muchos casos identificados, no obstante aun no se han precisado los mecanismos por los cuales estas toxinas llegan a ocasionar tales daños. La capacidad de difusión y contaminación así como los efectos que aunque en mínimas dosis puedan causar, las hace presentarse como un enemigo silencioso del cual debemos aprender como afrontarlo.

El arma principal para combatir a las micotoxinas la constituye la difusión objetiva de la información a todos los integrantes de las cadenas productivas de alimentos y las medidas de prevención y control que se puedan aplicar a lo largo de la misma.

La alternativa actual en la industria pecuaria y en el campo mexicano es el uso de absorbedores o secuestrantes de micotoxinas, sin embargo, este tema es muy polémico pues existen muchas opciones en cuanto a estos productos.

Por otra parte, se debe lograr unificar los criterios en materia de normalización de los procedimientos para el muestreo, los análisis para la detección y los niveles permisibles tratando de globalizar el problema de las micotoxinas y las acciones para contrarrestarlo.

Por todo lo anterior, no debemos esperar que ocurran hechos lamentables que involucren la vida ya sea humana como animal para empezar a conocer sobre las micotoxinas.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Andersen B. *et al.* 2001. Chemical and morphological segregation of *Alternaria alternata*, *A. gaisen* and *A. longipes*. *Mycological Research* **105**: 291-299.
- Arano, R. C. 1998. Forraje verde Hidropónico y otras técnicas de cultivo pp. 143-150
- Backman, P. A, M.Wilson, J. Murphy, 1997. *Bacteria for biological control of plant diseases*. Rechcigl, N.A. y Rechcigl, J.E. (Ed.), En Environmentally safe approaches to crop disease control. Boca Raton, Florida, USA. pp. 36- 40
- Betina, V., 1984. Biological effects of mycotoxins. In: Betina, V. (Ed). *Mycotoxins- Production, Isolation, Separation and Purification*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.25-36.
- Booth, C. 1971. The Genus *Fusarium* Editorial .Trillas. pp. 19-31.
- Cepeda, J. 1999. Química de suelos. México. Editorial Trillas.167 p.
- Christensen, C. M. 1987. En: *Food and Beverage Mycology*. Beuchat LR, ed. New York, Van Nostrand Reinhold, cap. 7. P.115-160
- Denly M. Pérez J. F. 2006 Contaminación por micotoxinas en los piensos. Efectos tratamientos y prevención. XXII Curso de especialización de la fundación Española para el Desarrollo de la nutrición Animal (FEDNA). Barcelona, España. Pp. 16-48
- Dosal Aladro, J. J. M. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Época de Cosecha y Fertilización sobre la Calidad y Cantidad de Forraje de Avena Producido Bajo Condiciones de Hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

- Eriksen, G. S. *et al.* 2000. Safety evaluation of certain food additives and contaminants: Zearalenone. World Health Organization, Ginebra. 2 ,(2) pp 9-20
- FAO, 2001. Manual técnico de forraje verde hidropónico, Santiago De Chile 2001 Fernández A. A. Loste, T .Saez., J. J. Ramos, 2002. Principales micotoxicosis en el ganado ovino. Revista pequeños Rumiantes, 3, 3, pp 8-13.
- FAO. 2003. Manual sobre la aplicación de análisis de peligros y de puntos críticos de control (APPCC) en la prevención y control de los micotóxicos. Estudio FAO Alimentación y Nutrición N° 73. pag. 132
- Fernández A. *et al.*, 2002. Principales micotoxicosis en el Ganado ovino. Revista pequeños Rumiantes, 3 (3), 8-13.
- Fokunang, Ch, E. A. T. Fokunang, P. Tomkins and S. Barkwan.(2007), *Global impact of mycotoxins on human and animal health management*. Outlook on Agriculture Vol. 35, 247-253
- Huwig, A. Freimud, S. Kappelli O. and Dutler, H (2001), Mycotoxins detoxication of animal feed by different absorbents. *Toxicology Letters* 122, 179 – 188.
- Jackson, M. L. 1970. Análisis químico de suelos. Barcelona, 1ª. Ed. España. Omega. 662 p.
- Jarvis, W.R. 1992. Managing diseases in greenhouse crops. APS Press, St. Paul, Minn. 324 p
- Jay, J. 2003. Modern food microbiology. Sexta edición. Aspen Publication. 679 p.
- Jurado, R. 1989. Toxicología Veterinaria. Segunda Edición. Salvat. Madrid, España. 618 p.
- Lacey J. Journal of Applied Bacteriology, Symposium Supplement 1989. pp. 11-25.

- Lacey J. 1989. Pre- and post-harvest ecology of fungi causing spoilage of foods and other stored products. *Journal of Applied Bacteriology*, Symposium supplement. 11-25 pp.
- Lanyasunya, T.P., Wamae L.W., Musa, H.H., Olowofeso, O., Lokwaleput, I.K. 2005. The risk of mycotoxins contamination of dairy feed and milk on smallholder dairy farms in Kenya. *Pak. J. Nutrition* 4:162-169.
- Lawlor P. G. and P. B Lynch, 2001. Mycotoxins in pigs feeds 1: Source of toxins prevention and management of mycotoxicosis. *Irish Veterinary Journal*, Vol. 54, (3) pp. 19-29
- Lawlor P. G. and P. B Lynch, 2001. Mycotoxins in pigs' feeds 2: Clinical Aspects. *Irish Veterinary Journal*, Vol. 54, (4) pp. 172-176
- Martínez, E. 2001. causas e incidencia de enfermedades del forraje verde hidropónico. Caso de estudio, centro de investigación en química aplicada 2007. p: 56 27- 30
- Liao, L.L.; Grollman, A. P.; Horwitz, S.B. 1976. Mechanism of action of the 12,13-epoxytrichothecene, anguidine, an inhibitor of protein synthesis. *Biochim. Biophys. Acta* 454, 273-284.
- Lillehoj EB. 1991. Aflatoxins: an ecologically elicited genetic activation signal. pp. 1-35 en: Smith JE, Henderson RS, eds. *Mycotoxins and Animal Foods*. CRC Press, Boca Ratón.
- McGee, D. 1988. *Maize Disease: a reference source for seed technologists*. St. Paul, Minnesota. APS Press. Pp 13-15.
- Monney, J. 2002. Growing Cattle Feed Hydroponically. *Meat Livestock Australia*. 46 (2):27-30

- Morales H, Marín S, Rovira A, Ramos AJ, Sanchis V. 2007. "Patulin accumulation in apples by *Penicillium expansum* during postharvest stages". *Lett Appl Microbiol.* **44** (1): 30–5.
- Moss MO. 1991. The environmental factors controlling mycotoxin formation. pp. 37-56
- Owen-Going, T.N.2002. Etiology and epidemiology of *Pythium* root rot in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in commercial-scale and small-scale hydroponic systems. M.Sc. thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario. 321 p.
- Owen-Going, T.N.; Sutton, J.C.; Grodzinski, B., 2003. Relationships of *Pythium* isolates and sweet pepper plants in single-plant hydroponic units. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 25:155-167.
- Penyalver, R, Vicedo, B., López, M. M. 2000. Use of the genetically engineered
- Peterson SW *et a.*, 2000. Genetic variation and aflatoxin production in *Aspergillus tamaris* and *A. caelatus*. pp. 447-458 en: Integration of Modern Taxonomic Methods for *Penicillium* and *Aspergillus* Classification. Samson RA, Pitt JI, editores. Harwood Academic Publishers, Australia.
- Pitt JI, Hocking AD. 1997. Fungi and Food Spoilage. 2^oed. Blackie Academic & Professional, London. P. 321-335
- Pitt JI. 1997. Toxigenic *Penicillium* species. pp. 406-418 en: Food Microbiology. Fundamentals and Frontiers. Doyle MP *et al.* ASM Press, Washington.
- Pitt JI *et al.* 1986. *P. commune*, *P. camemberti*, the origin of white cheese moulds and the production of cyclopiazonic acid. *Food Microbiology* 3: 363-371.
- Pittet A. 1998. *Natural occurrence of mycotoxins in foods and feeds*. An update review. *Revue Méd. Vét.*, 149, 6, 479-492.

- Ramirez, M.L.; Reynoso, M.M.; Farnocchi, M.C.; Chulze, S.; 2006. Vegetative Compatibility and mycotoxin chemotypes among *Fusarium graminearum* (*Gibberella zeae*) isolates from wheat in Argentina. *Eur. J. Plant Pathol.*, 115, 139-148.
- Rodríguez M., 2003. Producción de Forraje Verde. Literature pendiente de publicacion. Facultad de Zootecnia De la Universidad Autónoma de Chihuahua.pp. 3-6
- Sánchez, A, 2000, una experiencia de Forraje Verde Hidropónico en el Uruguay. Boletín Informativo de la red Hidroponía N0 7.Lima Perú. pp. 3-8
- Sánchez C.A. 2002. Manual técnico” producción de forraje verde hidropónico” Oficina Regional de la FAO para América latina y el Caribe. Santiago. Chile. Pp .1-19
- Samson R A, Hoekstra ES, Frisvad JC, Filtenborg O. 2000. Introduction to food-and airborne fungi, 6th Ed. Utrecht, The Netherlands, Centraalbureau voor Schimmelcultures, P: 45. 27-30
- Scudamore, K and Ch. Livesley. 1998. Occurrence and significance of mycotoxins in Forage Crops and Silage: a Review. *J Sci Food Agric Vol. 77* pp 1-17.
- Seifert K. 2001. *Fusarium* and anamorph generic concepts. pp. 15 - 28 en: *Fusarium*. Summerell BA et al., eds. APS Press. St. Paul, Minnesota.
- Shethy, P. H & L. Jespersen, 2006. Trends in Food Sciences in technology Vol. 17 pp 48- 55
- Sneath, R and F MuIntossh 2003. Review of hydroponic Fodder Production for Beef cattle. Meat & Livestock Australia Limited. p.18
- Swanson BG. 1987. Mycotoxins on fruits and vegetables. *Acta Horticulturae* 207: 49 - 61.

- Task Force Report 139. 2003. Mycotoxins: Risks in plants, animal, and human systems. Council for Agricultural Science and Technology. Pp 1-199.
- Torres, F & G. L Díaz. 2002. Micotoxinas en la alimentación animal Tesis de postgrado. Universidad Autónoma De Chihuahua, Chih. p: 75 30-35
- Trucksess MW. 2001. Mycotoxins. Journal of AOAC International 84: 202-211
- Ueno, Y; Yamakawa, H.; 1970. Cytotoxicity of tricothecenes. Jpn. J. Exp. Med. 40, 385-390.
- Wild A. 1992. La población microbiana del suelo. *In* Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. p. 471-494
- Wilson, M., Backman P. A., 1998. Biological. Control of plant pathogens Ruberson, J. R. (Ed.). En: Handbook of pest Management Marcel Dekker. Pp. 120- 133
- Yiannikouris, A. & Jouany Jean Pierre, 2002a. Les mycotoxines dans les aliments des ruminants, leur devenir et leurs effets chez l'animal. INRA Prod. Anim. 15 (1), 3-16

PAGINAS WEB CITADAS

- Alberto G. 2002 micotoxinas más significativas. Agrinea. Argentina. http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?AREA=MYC&art=351 Fecha de consulta: junio de 2009
- Alvarado C. G, 2004. Micotoxinas en la nutrición animal: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Magíster en Ciencias Producción Animal .Valdivia – Chile (<http://www.monografias.com/trabajos16/micotoxinas>) Fecha de consulta: junio de 2009.
- Alltech G., 2007. Efecto de las micotoxinas en caballos: los que conocemos hasta ahora. Agrinea. Argentina (http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=135) Fecha de consulta: junio 2009.
- Alltech G., 2007. Combatiendo la contaminación de micotoxinas. Agrinea. Argentina (http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=134&AREA=MYC#1.) Fecha de consulta: junio de 2009.
- Asero J. y Suquilanda M., 2007. Evaluación de (*trichoderma harzianum*) y (*penicillium sp.*) en el control de “oidio”(*sphaeroteca pannosa*) en rosas (*rosa sp.*) variedad aalsmer gold. ascázubi – pichincha 2007. <http://www.unsa.edu.ar/matbib/hongos/05htextopenicilios.pdf>) fecha de consulta: en junio de 2009.
- Carrillo L., 2003. Los Hongos de los alimentos y forrajes. Universidad Nacional de Salta. (UNAS) Argentina. <http://www.unsa.edu.ar/matbib/hongos/04htextoaspergilos.pdf>. Fecha de consulta: junio de 2009.
- Erica C. Ramírez, 2006. Determinación de aflatoxina M1 en la leche pasteurizada. Utilizando CCD y columna de inunoafinidad. Universidad Federal do Paraná, Brasil.

Fanny R. *et. al*, 2005. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Centro Nacional de Investigadores Agropecuarios. Maracay, Aragua, Venezuela.
<http://www.uce.edu.ec/upload/20090209104416.pdf> fecha de consulta: junio de 2009.

Galán L. Rodríguez J. J., 2003 la contaminación por micotoxinas Universidad Autónoma de Barcelona. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2003/06/04/6735.php>. Fecha de consulta: junio de 2009.

Javier L. A., 2004. Métodos identificación y control de micotoxinas
http://www.metodos_determinacion_identificacion_control_s_articulos_300_MYC.htm.
Fecha de consulta: junio de 2009.

José F., 2001. Importancia de las micotoxinas en cerdos. Aranco corp. Estados unidos.
http://www.engormix.com/importancia_micotoxinas_cerdos_s_articulos_246_MYC.hta
Fecha de consulta: junio 2009

Patricia K., 2007. Presencia de micotoxinas en granos y raciones para cerdos. Agrinea. Argentina
http://www.engormix.com/presencia_micotoxinas_granos_raciones_s_articulos_408_MYC.htm. Fecha de consulta: junio de 2009.