

# Mohos toxigénicos y micotoxinas en maíz y otros cultivos en Venezuela

**Claudio B. Mazzani C.**

Profesor Titular Jubilado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Apdo. 4579, Maracay 2101, Aragua, Venezuela.

## RESUMEN

Desde su formación en la planta hasta que son procesados los granos están expuestos a la acción de factores abióticos y bióticos que determinan su calidad. Los mohos han recibido especial atención por sus implicaciones tanto en salud pública como animal y por los enormes perjuicios económicos que pueden ocasionar. Los que han recibido mayor atención son especies de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. En regiones tropicales y subtropicales las especies y las micotoxinas más importantes son *Aspergillus flavus* y las aflatoxinas, *Fusarium verticilloides* y las fumonisinas, y *Aspergillus ochraceus* y las ocratoxinas. Dependiendo de la micotoxina, su concentración y el tiempo de exposición, sus efectos sobre animales y humanos son variables; pueden ser carcinogénicas, mutagénicas, teratogénicas, inmunosupresivas, neurotóxicas, hepatotóxicas y nefrotóxicas, entre otros. La magnitud de la colonización y el contenido de micotoxinas dependen de muchos factores que actúan durante el proceso productivo y en ese sentido la prevención se basa en minimizar el mayor número de estos. En Venezuela prevalecen condiciones altamente favorables para el crecimiento de los mohos y la síntesis de micotoxinas en granos de cereales y otros cultivos; sin embargo, la magnitud del problema y sus posibles implicaciones en salud pública y animal son hasta ahora desconocidos. Un considerable número de investigaciones, a lo largo de los últimos cuarenta años, demostraron su importancia en maíz, arroz, sorgo, maní, leguminosas de grano, café y almendras de cacao, entre otros cultivos. Destaca el hecho de que no se realiza la capacitación de los productores del campo (agricultores) para prevenir el problema desde el inicio de la cadena productiva.

**Palabras clave:** Aflatoxinas, *Aspergillus*, fumonisinas, *Fusarium*, ocratoxinas, *Penicillium*.

---

\*Autor de correspondencia: Claudio Mazzani

E-mail: mazzanicb@gmail.com

## Toxigenic molds and mycotoxins in maize and other crops in Venezuela

### ABSTRACT

From their formation in the plant until they are processed, grains are exposed to the action of abiotic and biotic factors that determine their quality. Molds have received special attention because of their implications for public and animal health and because of the enormous economic damage they can cause. Those that have received most attention are species of the genera *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium*. In tropical and subtropical regions the most important species and mycotoxins are *Aspergillus flavus* and aflatoxins, *Fusarium verticilloides* and fumonisins, and *Aspergillus ochraceus* and ochratoxins. Depending on the mycotoxin, its concentration and exposure time, their effects on animals and humans are variable; they can be carcinogenic, mutagenic, teratogenic, immunosuppressive, neurotoxic, hepatotoxic and nephrotoxic, among others. The magnitude of colonization and the content of mycotoxins depend on many factors that act during the production process and in this sense, prevention is based on minimizing the greatest number of these factors. In Venezuela, highly favorable conditions prevail for the growth of molds and the synthesis of mycotoxins in cereal grains and other crops; however, the magnitude of the problem and its possible implications in public and animal health are so far unknown. A considerable amount of research over the last forty years has demonstrated its importance in maize, rice, sorghum, peanuts, grain legumes, coffee and cocoa beans, among other crops. It is important to highlight the fact that there is no training of farmers to prevent the problem from the beginning of the production chain.

**Key words:** Aflatoxins, *Aspergillus*, fumonisins, *Fusarium*, ochratoxins, *Penicillium*.

### INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), seguido por el arroz (*Oryza sativa* L.), es el principal cereal producido en Venezuela y sus granos, enteros o principalmente procesados para producir harinas pre-cocidas, son consumidos a diario sobre todo por la población con menos ingresos. Hasta el año 2010 se cultivaba de manera significativa por lo menos en quince estados en los cuales se encontraban desde pequeñas explotaciones para el consumo familiar, hasta grandes extensiones con uso intensivo de maquinaria y una alta tecnología.

La calidad de los granos de maíz, como en arroz, café (*Coffea arabica* L.), cacao (*Theobroma cacao* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), maní (*Arachis hypogaea* L.) y algodón (*Gossypium hirsutum* L.), entre otros, está condicionada por eventos que pueden ocurrir aun antes de que los mismos sean cosechados. Desde su formación hasta que son procesados para ser transformados en alimentos los granos están expuestos a la acción de factores abióticos y bióticos que determinan su calidad. Además de estar involucrados en la pérdida de la calidad, los mohos han recibido especial atención por sus implicaciones tanto en salud pública como animal y por los enormes perjuicios económicos que pueden ocasionar (Fortnum, 1986; Mazzani, 1996).

La consecuencia más importante de la colonización de los granos por mohos es su contaminación con micotoxinas. Estas son sustancias químicamente complejas y poco relacionadas entre sí, sintetizadas en el metabolismo secundario de ciertos mohos. Estas sustancias de bajo peso molecular son prácticamente insolubles en agua pero muy solubles en solventes orgánicos. Son muy resistentes a las altas temperatura usuales en la cocción de alimentos y durante el procesamiento industrial. La mayoría tiene propiedades fluorescentes bajo la luz ultra violeta lo cual ha sido de gran utilidad en el desarrollo de métodos cualitativos y cuantitativos de análisis. Las micotoxinas más importantes asociadas a granos de maíz producidos en regiones climáticas tropicales y sub-tropicales son las aflatoxinas y las fumonisinas.

La contaminación con micotoxinas, aun cuando merece especial atención, no es el único aspecto de importancia en relación con la infección de granos de maíz por mohos. Tanto las especies toxigénicas como las atoxigénicas producen cambios desfavorables en los granos sobre los cuales crecen. Como heterótrofos, durante su crecimiento, alteran el valor nutritivo disminuyendo el contenido de grasas, proteínas y carbohidratos. Decoloran o manchan total o parcialmente los granos. El enmohecimiento altera las características organolépticas comunicando a los granos sabores y olores atípicos. Además, ocasionan la muerte del embrión, aspecto de interés en procesos industriales donde la pre-germinación de los granos es fundamental.

La magnitud de la colonización y la síntesis de micotoxinas dependen de muchos factores que actúan durante el proceso productivo. Por un lado, la susceptibilidad del genotipo sembrado, la agresividad, capacidad toxigénica y la cantidad de inóculo del hongo, el padecimiento de la planta madre por déficit hídrico, los insectos plagas, las condiciones ambientales (humedad y temperatura) durante el cultivo, la época de cosecha y la humedad del grano durante la misma, condicionan la calidad micotoxicológica del producto cosechado. Por otro lado, el tiempo de transporte y del acondicionamiento, la humedad relativa, temperatura y aireación del almacén, el contenido de humedad de los granos almacenados, los daños mecánicos o por insectos y el tipo de almacén, condicionan la calidad final de la materia prima para la industria (Fortnum, 1986; McMillian, 1986; Widstrom, 1996; Mazzani, 1997).

Cuando las condiciones ambientales son favorables, los mohos que proliferan sobre los granos de maíz son una de las principales causas de su deterioro y de la pérdida de los mismos. Se calcula que entre 5 y 10 por ciento de los granos cosechados en el mundo se pierde por causa de los mohos, y que entre 30 y 40 por ciento resulta contaminado por una o más micotoxinas. El deterioro y la contaminación con micotoxinas son considerables en regiones tropicales húmedas de África, Centro y Sur América (da Cruz, 1996).

Particularmente en Venezuela, donde prevalecen condiciones altamente favorables para el crecimiento de los mohos y la síntesis de micotoxinas, no se dispone de estadísticas confiables sobre pérdidas durante la cadena de producción del maíz, ni en otros cultivos. De forma aproximada, se ha estimado que un 25 por ciento del maíz, del sorgo y del arroz producidos resulta altamente deteriorado por distintas causas entre las que se destaca la contaminación por hongos. Sin embargo, la magnitud de la contaminación por mohos y micotoxinas en granos de maíz, así como sus posibles implicaciones en salud pública y animal son hasta ahora desconocidos en Venezuela, a pesar de que un considerable número de investigaciones, realizadas a lo largo de los últimos cuarenta años, demostraron la importancia del problema (Mazzani, 1983; Capobianco y Mazzani, 1985; McMillian *et al.*, 1991; Mazzani, 1994, 1996).

## Principales especies de mohos toxigénicos y micotoxinas en maíz y otros cultivos

Los mohos que atacan los granos pueden ser patógenos primarios de la planta, débiles parásitos o saprófitos. Los mohos que han recibido mayor atención son especies de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. En algunas especies toxigénicas como *Aspergillus flavus*, considerado durante mucho tiempo sólo como saprófito durante el almacenamiento, ha sido demostrado que altos niveles de infección y contaminación con aflatoxinas pueden ocurrir en el campo durante el desarrollo de los granos. En otros hongos patógenos primarios del maíz y del sorgo como *Fusarium verticilloides* (syn. *Fusarium moniliforme*) ha sido comprobado que, en muchos casos, la infección de los granos es tanto sistémica, como a través de la mazorca y en ambos casos la contaminación con fumonisinas puede ocurrir desde el campo y continuar durante el almacenamiento. *Penicillium citrinum*, *P. verrucosum* y *P. viridicatum* se asocian con la producción de importantes micotoxinas como citrinina y ocratoxina. En todos los casos, ha sido demostrado que el inóculo y considerables niveles de infección provienen del campo. Ciertamente los denominados hongos de almacenamiento inician su actividad en el campo y algunos hongos llamados de campo persisten durante el almacenamiento (Diener *et al.*, 1987; McGee, 1988; Singh *et al.*, 1991; Scussel, 1998; Olalekan, 2019).

### Clasificación taxonómica de mohos toxigénicos

Dentro del **Reino Fungi**, como se mencionó en el párrafo anterior, las especies de mohos toxigénicos más comunes e importantes son referibles a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. Las formas sexuales o perfectas (teleomorfos) de tales especies se ubican dentro del **Phylum Ascomycota**.

Los teleomorfos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* se clasifican dentro de la **Clase Eurotiomycetes**, **Orden Eurotiales** y **Familia Trichocomaceae**. Sin embargo, las formas teleomórficas de muchas especies referibles a estos géneros son raras o sencillamente desconocidas. Es por eso que la identificación de especies dentro de estos géneros se realiza, comúnmente, sobre la base de las estructuras reproductivas asexuales (anamorfos). Su clasificación basada en tales características los ubica dentro de la **Clase Deuteromycetes**, **Orden Moniliales** y **Familia Moniliaceae**.

Los teleomorfos del género *Fusarium* se clasifican dentro de la **Clase Sordariomycetes**, **Orden Hypocreales** y **Familia Nectriaceae**. Las formas teleomórficas de algunas especies referibles a este género son difíciles de encontrar y la identificación de especies se realiza, comúnmente, sobre la base de las estructuras reproductivas asexuales (anamorfos). Su clasificación basada en tales características los ubica dentro de la **Clase Deuteromycetes**, **Orden Moniliales** y **Familia Tuberculariaceae**.

### *Aspergillus flavus* Link ex Fries y otras especies productoras de aflatoxinas

*Aspergillus flavus* y las aflatoxinas, encontradas en 1960 contaminando torta de maní en el Reino Unido y en 1963 en torta de algodón en EUA., en pocos años tenían amplia distribución en productos agrícolas, de los cuales los más susceptibles eran maní, maíz, algodón, sorgo y arroz. Son sintetizadas por *A. flavus*, *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus nomius*, y más recientemente se asociaron a otras especies estrechamente relacionadas con *A. tamarii*, entre otras.

Las aflatoxinas más importantes son AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub> y AFG<sub>2</sub>, cuya denominación depende del color de la fluorescencia bajo luz ultra violeta (Blue/B; Green/G). La más tóxica y más frecuente

es la AFB<sub>1</sub> cuyo metabolito en la leche es la aflatoxina M. La capacidad aflatoxigénica y los tipos de aflatoxinas producidas varían entre aislamientos de *A. flavus*, encontrándose en la naturaleza desde cepas atoxigénicas hasta cepas altamente productoras (Mazzani, 1996; Scussel, 1998; Gil-Serna *et al.*, 2018).

## Sintomatología y epidemiología

*A. flavus* y especies relacionadas con la síntesis de aflatoxinas en maíz, maní, arroz, algodón, copra, sorgo y otros cultivos son generalmente asintomáticas en plantas infectadas, salvo algunas excepciones como es, por ejemplo, la presencia de colonias del hongo de color verde en mazorcas de maíz en áreas dañadas por aves, insectos o roedores. En infecciones tempranas, que resultan en una larga permanencia de los mohos en los granos, los mismos resultan severamente manchados, tal como ocurre con otros patógenos que infectan inflorescencias y frutos (McGee, 1988).

Investigaciones en maíz, iniciadas en la década de los años setenta, demostraron consistentemente que puede ocurrir una masiva infección de los granos y la consecuente contaminación con aflatoxinas antes de la cosecha (Kang *et al.*, 1990; Gorman *et al.*, 1992). Esos trabajos, realizados especialmente en maíz, maní y algodón, aclararon la epidemiología de la infección por *A. flavus*, la consecuente síntesis de toxinas y los factores envueltos en la misma. Los resultados demostraron que, además de una alta actividad saprofítica de *A. flavus* en suelo, en restos de cosecha, en el cuerpo de insectos muertos y en los granos durante el almacenamiento, su comportamiento en el campo es el de un parásito débil con una epidemiología y una patogénesis bien caracterizadas, con una definición precisa del inóculo primario, del inóculo secundario, de sus mecanismos de dispersión y del proceso de infección (Wicklow and Wilson, 1986; Diener *et al.*, 1987; McGee, 1988; Gorman *et al.*, 1992; Widstrom, 1996; Mazzani, 1997).

Las fuentes potenciales de inóculo primario de *A. flavus* en el campo son conidios en el suelo, micelio que sobrevive de una estación a otra en restos de plantas, en desechos en el suelo y en insectos, así como esclerocios en el suelo y en el cuerpo de insectos muertos. Numerosas especies plagas del maíz, algodón y maní, son importantes fuentes de inóculo primario de *A. flavus*. Los conidios son llevados y se perpetúan en el cuerpo de los insectos y han sido aislado del tejido intestinal, de otros tejidos internos y de la superficie de muchos de ellos. También se ha comprobado que el hongo es patogénico a muchos insectos y forma esclerocios y esporula abundantemente sobre el cuerpo de insectos muertos (Wicklow y Horn, 1984; Wicklow, 1991).

*A. flavus* produce grandes cantidades de conidios sobre el inóculo primario los cuales son fácilmente llevados por el aire y otros medios de dispersión. Estos conidios son depositados sobre diferentes órganos de la planta donde se producen sucesivas generaciones esporogénicas (Diener *et al.*, 1984; Payne, 1986). También los insectos contaminados (Lepidóptera) son una importante fuente de inóculo secundario. Otros insectos (Coleóptera: Nitidulidae) llevan interna y externamente conidios de *A. flavus* que adquieren al ser atraídos por el olor del hongo, a la vez que tienen predilección por desechos orgánicos en el suelo y por mazorcas con daño primario por lepidópteros. Se han encontrado conidios viables del moho en las heces de estos insectos. Todo ello los hace sumamente activos en la diseminación del hongo (Dowd, 1991). En Venezuela, se identificó por primera vez *Epitragus* sp. (Coleoptera: Tenebrionidae) en asociación con *A. flavus* durante la cosecha de maíz bajo riego en el estado Portuguesa (Mazzani *et al.*, 2004).

En maíz, la infección ocurre cuando el aire y los insectos diseminan el inóculo hacia los estigmas, a través de los cuales el hongo penetra a la mazorca en desarrollo. Las porciones dañadas por aves e insectos son rápidamente colonizadas. La velocidad de colonización de otras áreas de la mazorca está determinada por factores ambientales, culturales y genéticos. La infección sistémica desde semillas inoculadas ha sido demostrada en el laboratorio, aunque no parece ser un mecanismo de infección eficaz en la naturaleza (Kelly, 1986; McMillian *et al.*, 1991; Wallin *et al.*, 1991).

### **Impacto de las aflatoxinas en salud pública y animal**

Dependiendo de su concentración en los alimentos, causan en animales y humanos efectos crónicos con síntomas y alteraciones patológicas como son disminución de la función hepática, hígado graso, hepatomas y reducción de las proteínas plasmáticas, lo cual influye en la producción de inmunoglobulinas y en el aumento de la fragilidad capilar que resulta en hemorragias generalizadas.

Niveles bajos de la toxina en los alimentos causan efectos sub-agudos asintomáticos que afectan la salud del animal. Una baja eficiencia alimentaria, producto de la interferencia de importantes sistemas enzimáticos que afectan la digestión de aminoácidos, proteínas y lípidos, se traduce en una importante reducción de la ganancia de peso y en la producción. Además, una prolongada baja exposición causa importantes efectos inmunosupresivos caracterizados por la aparición inesperada de enfermedades infecciosas y parasitarias, y porque los animales no responden a la vacunación.

En intoxicaciones agudas, derivadas de la ingesta de dosis elevadas de estas toxinas, ocurre la muerte de los animales. Aductos de AFB<sub>1</sub> han sido hallados en distintos tejidos durante la necropsia de humanos fallecidos a causa de cáncer. La tolerancia máxima permitida en alimentos para el consumo humano o animal es de 20 ppb (ng/g) y 0,5 ppb de AFM<sub>1</sub> en leche. (da Cruz, 1996, 1997; Widstrom, 1996; Scussel, 1998).

### ***Aspergillus flavus* y aflatoxinas en Venezuela**

En Venezuela, los resultados de numerosos trabajos de investigación han sido consistentes durante las últimas tres o cuatro décadas. Un muy elevado número de las muestras analizadas, colectadas en almacenes de diferentes tipos, en camiones, así como en el campo, resultaron infectadas con *A. flavus* y con altos niveles de estas toxinas. Tanto en maíz almacenado y en el campo, sea de parcelas experimentales o semi-comerciales, así como en muestras de explotaciones comerciales en importantes zonas productoras de maíz en los estados Guárico, Portuguesa y Yaracuy, se demostró que ese moho y sus toxinas representan un problema de primer orden (Mazzani *et al.*, 1999). Así mismo, se encontró elevada frecuencia e incidencia de *A. flavus* y de otros mohos en otros granos como arroz, maní, leguminosas de grano (*Phaseolus vulgaris* L.; *Vicia sativa* L.), café y almendras de cacao, entre otros (Mazzani, 1983; Capobianco y Mazzani, 1985; Narsice *et al.*, 2013; Chavarri *et al.*, 2017; Escalona *et al.*, 2017).

### ***Fusarium verticilloides* (Sacc.) Nirenberg y otras especies productoras de Fumonisin**

Descubiertas entre 1988 y 1990 en granos de maíz y de otros cereales como el sorgo y el arroz, las fumonisin se encuentran entre las micotoxinas más estudiadas a escala mundial, razón por la cual los conocimientos al respecto han surgido de manera acelerada. Son sintetizadas principalmente por *Fusarium verticilloides* (syn. *F. moniliforme*) en regiones tropicales y subtropicales, y por *F. proliferatum* en regiones subtropicales y templadas. Algunos autores consideran que se trata de una misma especie.

De las distintas fumonisinas identificadas las más importantes son FB<sub>1</sub>, FB<sub>2</sub> y FB<sub>3</sub>. La síntesis de fumonisinas también ha sido demostrada en otras especies referibles al género *Aspergillus* de la sección *nigri* (Bacon y Nelson, 1994; Mazzani *et al.*, 2000; Mazzani *et al.*, 2001; Ochoa *et al.*, 2015).

### Sintomatología y epidemiología

*Fusarium verticillioides*, patógeno primario de la planta de maíz, es el agente causante de la enfermedad conocida con el nombre de Pudrición del Tallo y de la Mazorca del Maíz; su sintomatología y epidemiología son más conocidas que en *A. flavus* en todos los aspectos. Su sintomatología en el campo se reconoce por lesiones desde marrón claro hasta negras cercanas a los nudos y el micelio color rosado salmón aparece en la médula. El tallo se quiebra y se dobla. En su interior y a veces externamente se observan en la mazorca áreas enmohecidas de color rosado salmón que coinciden con granos que presentan estrías blancas o pudrición del mismo color rosado.

El hongo tiene una gran actividad saprofítica sobre restos de cosecha y sobre la superficie del suelo desde donde, bajo condiciones ambientales favorables, infecta el tallo del maíz directamente o a través de heridas mecánicas o causadas por insectos. La infección sistémica de los granos ha sido comprobada, aunque no parece ser la vía más importante. La penetración de la mazorca a través de los estigmas, donde los conidios del hongo llegan por el aire o sobre el cuerpo de algunos insectos, parece ser el mecanismo más común (McGee, 1988). Niveles de infección hasta del 100% son comunes en maíz y el patógeno es recuperado desde granos asintomáticos. El crecimiento del hongo en los granos es generalmente acompañado por la síntesis de fumonisinas (Munkvold y Desjardins, 1997; Mazzani *et al.*, 1999; Mazzani *et al.*, 2000; Mazzani *et al.*, 2001; Luzón *et al.*, 2003, 2007).

### Impacto de las fumonisinas en salud pública y animal

Las fumonisinas han sido asociadas con distintos desórdenes en mamíferos incluyendo a los humanos. La primera patología relacionada con su ingesta fue la leucoencefalomalasia en equinos (ELEM), una terrible enfermedad de orden neurológico que afecta caballos y asnos que conlleva a la muerte de los animales. Otra enfermedad característica es el edema pulmonar en porcinos (PPE) (da Cruz, 1996, 1997).

Estudios epidemiológicos, llevados a cabo en regiones de África del sur y China, con alta incidencia de cáncer esofágico en humanos, han demostrado su relación con el consumo frecuente de maíz altamente colonizado por *F. verticilloides* y contaminado con fumonisinas. En aves, no se conocen hasta ahora efectos patológicos específicos, aunque su capacidad inmunosupresora, carcinogénica y mutagénica ha sido comprobada en distintos animales domésticos. Se ha determinado que su modo de acción radica en la interferencia del metabolismo de los esfingolípidos (Norred y Voss, 1994; Munkvold y Desjardins, 1997; da Cruz, 1996, 1997).

La tolerancia máxima permitida en alimentos para humanos que contienen maíz, en algunos países, es de 1 ppm (mg/g), en alimentos para equinos es de 5 ppm y en alimentos para cerdos es de 10 ppm (Scussel, 1998).

### *F. verticillioides* y fumonisinas en Venezuela

En Venezuela, muestras analizadas en numerosos trabajos de investigación resultaron

infectadas con *F. verticillioides* y con altos niveles de estas toxinas en maíz en el campo, en parcelas experimentales o semi-comerciales, así como en muestras de explotaciones comerciales y almacenes en importantes zonas productoras de maíz (estados Guárico, Portuguesa y Yaracuy). No existen en Venezuela regulaciones relativas a las fumonisinas en maíz, derivados del maíz u otros cereales (Mazzani *et al.*, 1999, 2000, 2001, 2008; Chavarri *et al.*, 2017).

### ***Aspergillus ochraceus* Wilhelm y otras especies productoras de ocratoxinas**

*Aspergillus ochraceus*, *Penicillium verrucosum* Dierckx y *P. viridicatum* Westling son las principales especies productoras de Ocratoxina A (OTA). En el año 2000 se describe por primera vez la producción de OTA por *Aspergillus niger* var. *niger* van Tieghem. A partir de entonces son numerosos los trabajos que describen la producción de OTA por otras especies de *Aspergillus* de la sección *nigri* como *Aspergillus carbonarius* (Bainier) Thom común en viñedos, en adición a *Penicillium purpurogenum* (Blumenthal, 2004; Ravelo *et al.*, 2011; Olalekan, 2019). En líneas generales, especies productoras de OTA referibles al género *Aspergillus* son comunes en regiones tropicales y sub-tropicales, mientras que especies referibles al género *Penicillium* lo son en regiones de clima templado (Martínez, 2006).

### **Sintomatología y epidemiología**

*A. ochraceus* y especies relacionadas con la síntesis de ocratoxinas en maíz, cebada, trigo, avena, café en granos y otros cultivos, son generalmente asintomáticas en plantas infectadas, salvo por la presencia de colonias del hongo. Estas colonias, de colores particulares para cada especie, aparecen bajo condiciones ambientales favorables para su crecimiento y esporulación. En infecciones tempranas, que resultan en una larga permanencia de los mohos en los granos, los mismos resultan severamente manchados tal como sucede con otros patógenos que infectan inflorescencias y granos. Como ocurre con *A. flavus*, la infección y colonización de los granos mencionados, se asocia con manejo agronómico, de cosecha y post-cosecha deficientes bajo condiciones ambientales favorables a estos mohos que son altamente ubicuos en la naturaleza.

### **Impacto de las ocratoxinas en salud pública y animal**

La ocratoxina A ha recibido especial atención por ser nefrotóxica y clasificada como carcinógeno tipo 2 según el Centro Internacional de Investigaciones contra el Cáncer (IARC), inmunosupresiva, neurotóxica y teratóxica, cuya producción se asocia principalmente con *A. ochraceus* (Pohland, 1993). Es el agente causante de la Nefropatía Humana en los países balcánicos, caracterizada por causar severos daños a los riñones y la muerte (Martínez, 2005). También son responsables de severos cuadros de nefropatía en aves y cerdos (da Cruz, 1996, 1997; da Rocha, 1997; Taniwaki *et al.*, 2003).

Algunos aislamientos de *A. niger* var. *niger* suponen un riesgo a la salud humana y animal como productores de esta toxina, a pesar que esta especie posee el status GRAS (generally recognized as safe) de la FDA (Abarca *et al.*, 2000). Desde hace muchos años, aislados de *A. niger* han sido utilizados en la agroindustria en fermentaciones y para la obtención de una considerable cantidad de ácidos orgánicos, enzimas, glicerol, proteína unicelular, grasas y aceites, butanol, acetona, polisacáridos extracelulares y vitaminas, entre otros (Sánchez *et al.*, 2005; Mujica, 2006; Bertsch *et al.*, 2010; Domínguez *et al.*, 2011). La tolerancia máxima permitida en alimentos para el consumo humano en algunos países es de 5 µg/kg.



## ***A. ochraceus*, *A. niger* var. *niger* y ocratoxinas en Venezuela**

En Venezuela, una investigación realizada para detectar la presencia de OTA en café, demostró que 40 de 47 muestras de café verde analizadas presentaron desde 1 hasta 88  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de OTA (Martínez, 2005, 2006). Así mismo, se evaluó la producción *in vitro* de OTA por trece aislados de *A. niger* de diferentes sustratos vegetales, industriales y del suelo. Todos los aislados produjeron OTA *in vitro* en concentraciones desde 0,5 hasta 12,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Mazzani *et al.*, 2010).

## **Riesgos de otros mohos y otras micotoxinas en Venezuela**

Venezuela ha sido por tradición un país importador de granos de cereales y de otros cultivos, principalmente aquellos que, como el trigo, la cebada y la avena, no se cultivan en el país. Sin embargo, también son importados grandes volúmenes de granos que, como el maíz, si son producidos en el país, pero su producción es deficitaria. Tal situación abre la posibilidad de que otras micotoxinas, en adición a las mencionadas en párrafos anteriores, estén presentes en materias primas a ser procesadas por la agroindustria.

## ***Fusarium* spp., *Myrothecium* spp., *Stachybotrys* spp. y tricotecenos**

Este grupo de los tricotecenos son sintetizados en la naturaleza por un considerable número de especies referibles al género *Fusarium*. También son producidos por especies de los géneros *Myrothecium* y *Stachybotrys*. Del gran número de tricotecenos identificados en la naturaleza, los más importantes y más estudiados son el deoxinivalenol (DON) o vomitoxina, la toxina  $T_2$  y el deacetoxiscirpenol (DAS). Se señalan a *Fusarium tricinctum* (syn. *F. poae*, *F. culmorum*, *F. sporotrichoides*), *F. graminearum*, *F. nivale*, *Stachybotrys atra* y *S. alternan*, entre las especies más importantes (da Cruz, 1996, 1997; Mazzani, 1996).

## **Impacto de los tricotecenos en salud pública y animal**

En forma general, los tricotecenos ocasionan hemorragias a nivel de la boca, estómago, intestino delgado y recto de los animales. Otra sintomatología la conforman el regurgito de alimentos con vómito y diarrea, aborto en algunas especies y, frecuentemente, la muerte. Las intoxicaciones más severas por tricotecenos sintetizados por *Stachybotrys*, tanto en la paja de la cama como en los alimentos, ocurren en caballos a los cuales ocasionan inflamaciones al tracto digestivo y alteraciones de células sanguíneas, conduciéndolos a la muerte por paro respiratorio (da Cruz, 1996).

En humanos, el consumo de alimentos contaminados con tricotecenos se relaciona con la enfermedad conocida como Aleukia Tóxica Alimentaria (ATA), también denominada Leucopenia Tóxica Alimentaria, caracterizada por la disminución severa del número de glóbulos blancos, hemorragias en el tracto digestivo y la muerte.

## **Sistemas multitoxinas en Venezuela**

Generalmente, en Venezuela como en otras regiones tropicales, nos enfrentamos a sistemas multitoxinas donde el efecto de cada una en particular es difícil de identificar y separar, aunque a la fecha poco se conoce sobre la magnitud de esta situación en el país. La co-ocurrencia de aflatoxinas y fumonisinas en maíz es frecuente por lo que, como en otras asociaciones de las aflatoxinas con

otras micotoxinas, el efecto de cada una sobre los seres vivos se potencia y las consecuencias son más notables que las generadas por la ingesta de cantidades mayores de cada micotoxina en forma aislada (da Cruz, 1996; Tri Nguyen *et al.*, 2007).

### **Prevención y control de mohos toxigénicos y micotoxinas en maíz y otros cultivos**

La prevención de la contaminación con mohos toxigénicos y de las micotoxinas en granos de cereales y en otros cultivos, es una actividad compleja y multidisciplinaria que involucra a todas las etapas de la cadena productiva.

El control integral del problema está dirigido a identificar los factores que favorecen el crecimiento de los mohos y minimizar el número y la magnitud de los mismos durante el proceso productivo. De ese modo, solamente a través de un plan integrado de aseguramiento de la calidad será posible minimizar el problema. Con el objeto de cosechar granos inocuos desde un punto de vista micotoxicológico y mantener la inocuidad de los cereales como el maíz, así como en otros cultivos, se hace necesario identificar los puntos críticos donde la infección y colonización de los granos puede ocurrir, así como la consecuente contaminación con micotoxinas. Desde que se demostró que importantes niveles de infección y elevados contenidos de micotoxinas provienen desde el campo, la definición de puntos críticos y la aplicación de buenas prácticas desde la siembra hasta el procesamiento de los granos en la agroindustria es, sin duda, la vía más lógica y económica para su prevención y control (Mazzani, 1997; Mahukua, 2019). Para ello, se debe explorar las siguientes áreas de investigación y poner en práctica las medidas que se describen a continuación.

### **Genotipo del cultivo**

La selección del material de siembra para un área específica es determinante para predecir la calidad de los granos que serán cosechados y con ésta la suerte del productor al momento de comercializar la cosecha. Se impone la necesidad de exigir la evaluación rutinaria sobre la susceptibilidad a esos mohos y a sus micotoxinas de los genotipos foráneos de los cereales y de otros cultivos que se introducen año tras año, antes de que los mismos sean liberados para ser utilizados por los agricultores. Esos cultivares, que son probados en los ensayos regionales que desarrolla o supervisa el sector oficial en cuanto a comportamiento agronómico, rendimiento y susceptibilidad a plagas y algunas enfermedades, deben ser además evaluados por incidencia de mohos y acumulación de micotoxinas. Además, resulta prioritario unir esfuerzos (entes oficiales-productores-agroindustria) para que se incluya en todos los programas de mejoramiento de los cereales y otros cultivos en aquellos países donde las micotoxinas son un problema recurrente de primer orden, actividades tendentes a incorporar resistencia a mohos y/o sus micotoxinas, fundamentalmente a *A. flavus* y las aflatoxinas, y *F. verticillioides* y las fumonisinas.

En ese sentido, la resistencia a la infección por mohos, a la síntesis de micotoxinas o ambas, aparece como una estrategia primordial para prevenir su acumulación en cereales y en otros cultivos como el maní. Al respecto, importantes avances se lograron en maíz (Bacon y Nelson, 1994; Mazzani *et al.*, 1999; Mazzani *et al.*, 2000; Mazzani *et al.*, 2001) y en maní (Mazzani y Layrisse, 1990, 1992, 1994). Desde que se concluyó que la resistencia a la infección y a la contaminación con micotoxinas es controlada genéticamente, se identificaron importantes fuentes de resistencia como resultado de trabajos de selección y mejoramiento (Fortnum, 1986; Mazzani *et al.*, 2001) y se ha determinado, de manera clara, importantes mecanismos que operan en la resistencia (Kang *et al.*, 1990). Desde finales de la década de los noventa hasta el presente se lograron significativos avances en la búsqueda de

genotipos de maíz resistentes, sobre todo a *A. flavus* y/o a las aflatoxinas, utilizando como herramienta la biotecnología y la biología molecular (Chen *et al.*, 2006; Alezones, 2007; Balzano, 2012).

En Venezuela, durante la década de los noventa se dio inicio a proyectos conjuntos entre el laboratorio de Micotoxicología la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela y la Fundación para la Investigación Agrícola DANAC, de los cual surgieron importantes y alentadores resultados. En estos proyectos, se evaluó la susceptibilidad de muchos genotipos comerciales, semi-comerciales y experimentales de maíz de grano blanco y amarillo a la infección de los granos por *A. flavus* y *F. verticillioides* y a la acumulación de aflatoxinas y fumonisinas. Numerosos genotipos de maíz fueron evaluados en ensayos regionales, días de campo, parcelas semi-comerciales y explotaciones comerciales, desde pequeñas parcelas para el consumo familiar hasta grandes explotaciones. Los resultados de tales investigaciones mostraron notables diferencias entre genotipos, algunas consistentes entre localidades y años de evaluación, mientras que otros demostraron una marcada interacción genotipo-ambiente en su comportamiento. También se desarrolló una metodología de laboratorio para evaluar genotipos de maíz a la acumulación de aflatoxinas con resultados consistentes entre ensayos repetidos con los mismos genotipos (Mazzani *et al.*, 2006).

Además, se encontró escasa relación entre la incidencia de cada mocho en muestras de campo y la concentración de la respectiva micotoxina en los granos, lo cual coincide con investigadores que han sugerido mecanismos genéticos diferentes e independientes para resistencia a los mohos y a sus toxinas. También se demostró reacción contraria de los genotipos de maíz a cada especie de mocho y a sus micotoxinas. Tal vez lo más significativo fue el haber demostrado que, en general, en todos los campos de maíz muestreados el problema de esos mohos y sus micotoxinas fue recurrente durante unos diez años de desarrollo de esta investigación (Luzón *et al.*, 2003, 2007; Mazzani *et al.*, 1999, 2000, 2001, 2004, 2006; Chavarri *et al.*, 2009).

Actualmente, el único programa de mejoramiento genético del maíz que incluye la evaluación de materiales ante *A. flavus* y monitoreo de campo de *F. verticillioses* es el que lleva adelante la Fundación para la Investigación Agrícola DANAC en el estado Yaracuy (Comunicación personal con investigadores de la fundación).

También se hicieron algunas investigaciones tendentes a evaluar genotipos de maní, en campo y en laboratorio, por susceptibilidad a la colonización de sus semillas por *A. flavus*, *A. terreus* y a su contaminación con aflatoxinas. Interesantes resultados fueron obtenidos también en este cultivo (Mazzani, 2010; Mazzani y Layrisse, 1990, 1992, 1994).

## **Definición de factores epidemiológicos**

El estudio de todas las variables epidemiológicas para una zona de producción en particular es indispensable para la definición precisa de puntos críticos en el campo (Wicklów y Wilson 1986; Fortnum, 1986; Diener *et al.*, 1987; Widstrom, 1996).

## **Manejo agronómico**

El estado general de las plantas, como resultado del manejo agronómico de la plantación, puede generar condiciones a veces predisponentes y otras veces desfavorables para la infección de mohos toxigénicos y la síntesis de micotoxinas.

El buen estado nutricional condiciona plantas vigorosas cuyo crecimiento es más rápido y en las cuales es menos probable la infección. El control de insectos plagas y de otros insectos es fundamental ya que estos son vectores muy eficientes de los mohos en cereales y en otros cultivos como maní, ocasionan daño primario que facilita la infección por los mohos y son importantes reservorios de inóculo primario en el campo.

El estrés hídrico condiciona la disminución en el contenido de humedad de los granos haciéndolos más susceptibles a la infección por mohos por lo que la prevención del estrés hídrico, sobre todo después del llenado de los granos, es fundamental. Así mismo, la destrucción de restos de cosecha y la rotación de cultivos son aspectos de primer orden a considerar cuando se pretende minimizar la presencia de inóculo en el campo, sobre todo en áreas donde año tras año se siembra un determinado cultivo (Fortnum, 1986; Diener *et al.*, 1987; Dowd, 1991; McMillian *et al.*, 1991; Wicklow, 1991; Widstrom, 1996).

### **Cosecha**

La cosecha se debe planificar cuidadosamente antes de dar inicio a la misma y definir con suficiente antelación si se realizará la cosecha mecánica o manual. En áreas de producción con topografía irregular, donde la cosecha mecanizada no es factible, determinan que la misma se realice gradualmente de forma manual, retardada, con almacenamiento a la intemperie de importantes volúmenes de maíz húmedo sin trillar por períodos de tiempo variables, con la rápida multiplicación de los mohos y la consecuente síntesis de micotoxinas.

Durante la cosecha mecanizada debemos revisar el funcionamiento y la correcta graduación de la maquinaria para prevenir los daños mecánicos. Se debe respetar el momento óptimo de cosecha (cosecha temprana) cuando la humedad de los granos es óptima (madurez de cosecha) para evitar el almacenamiento en pie. Se debe considerar las condiciones ambientales reinantes durante la misma, principalmente la precipitación. Es de gran importancia el acarreo de los granos a sitio seguro y su pronto resguardo, sobre todo cuando existe el riesgo de precipitación. Estos son aspectos puntuales a considerar para el aseguramiento de la calidad de campo, inclusive en genotipos resistentes.

### **Condiciones de los vehículos y tiempo de transporte**

La limpieza a fondo de los vehículos es fundamental; en este sentido debe entenderse que los mismos transportarán un alimento. La limpieza deficiente de los vehículos condiciona el contacto de granos sanos con granos podridos y grandes cantidades de propágulos de los mohos (inóculo primario hacia los almacenes). La adecuada cobertura de los vehículos es un aspecto de primer orden ya que suministra las condiciones de protección de los granos de los factores ambientales, principalmente la precipitación, una vez que han sido colocados en los vehículos.

También el tiempo de transporte es fundamental. El transporte rápido en camiones adecuados es necesario ya que la permanencia prolongada de los granos húmedos en camiones expuestos a altas temperaturas, genera condiciones altamente propicias para que ocurra una rápida colonización de los granos por mohos y posiblemente su contaminación con micotoxinas.

### **Acondicionamiento**

Un pronto acondicionamiento ayuda a preservar la calidad de campo. Este manejo sólo es posible en regiones donde se planifica la cosecha y la asignación de los lotes cosechados a un determinado centro

---

de recepción, se realiza en función de su capacidad de secado, con el fin de evitar el congestionamiento en los centros y la acumulación de vehículos en espera, lo que crea condiciones favorables para la colonización de los granos por mohos y su contaminación con micotoxinas.

### **Monitoreo de las micotoxinas (Muestreo y análisis)**

El muestreo es tal vez uno de los puntos críticos más importantes en esta etapa del proceso productivo. Es una actividad compleja, difícil y con alto riesgo de cometer errores, por lo que es muy frecuente el rechazo de lotes limpios y la aceptación de lotes contaminados, producto de la obtención de falsos positivos y de falsos negativos, respectivamente.

En el muestreo a nivel de centros de recepción, deberían ser analizados todos los vehículos. Deben colectarse muestras grandes, producto de un número elevado de sub-muestras; aunque existe normativa al respecto, se ha demostrado que el incremento en el número de puntos de muestreo por vehículo, disminuye el error de muestreo (falsos positivos y falsos negativos). Finalmente, debe utilizarse una metodología analítica que esté validada para un producto en particular.

En Venezuela, el análisis de micotoxinas, cuando se hace, se realiza sobre muestras tomadas con otros fines sin considerar importantes aspectos como la distribución de las micotoxinas en los lotes y la metodología analítica a utilizar, lo que genera errores de diversos tipos que conducen, frecuentemente, a la obtención de falsos positivos y falsos negativos, afectando potencialmente a productores y consumidores (Mazzani, 2018).

### **Tipo e higiene de los almacenes y de otras instalaciones**

El riesgo de contaminación es acorde al tipo de almacén. Una amplia gama de almacenes se emplea en el almacenamiento de los cereales en un mismo país o área geográfica. En Venezuela hay una amplia variedad de silos y almacenes, desde grandes silos verticales de concreto, hasta almacenes horizontales construidos para almacenar sacos o con otros fines, en los cuales se almacena a granel. Por otro lado, la limpieza deficiente de los silos condiciona el contacto de granos sanos con granos podridos y grandes cantidades de propágulos de mohos, que infectan y contaminan lotes con buena calidad de cosecha. La limpieza de elevadores y otros sistemas de conducción de granos es fundamental. Granos dañados altamente contaminados y otras impurezas retenidas en los elevadores y transportadores son importantes reservorios de inóculo primario.

### **Monitoreo de las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura y sus interacciones)**

El conocimiento profundo de las condiciones ambientales, sobre todo en la etapa de desarrollo de nuevas instalaciones para el almacenamiento, puede determinar la almacenabilidad o no de los granos en una determinada localidad o área geográfica. Humedades relativas por encima de 65-70% generan rápidamente humedades de equilibrio en los granos de cereales superiores a 13%. En la medida que se incremente la humedad del aire, mayor será el riesgo de que se alcancen en los granos humedades intermedias, altamente favorables para el crecimiento fúngico y la síntesis de micotoxinas (Mazzani, 1996, 1997).

El monitoreo constante de la temperatura dentro de los silos es fundamental, ya que incrementos de la temperatura son indicativos de alta actividad metabólica en los granos, parte de la cual puede

deberse al crecimiento de los mohos, en adición a la respiración de los granos y de insectos plaga. La aireación de los silos en días secos ayuda a mantener la humedad de los granos deseada, al lograr que la temperatura de la masa de granos sea moderadamente menor que la temperatura del ambiente externo a los almacenes, evitando así el flujo de aire húmedo hacia el interior del silo.

Otro aspecto a considerar es el nivel freático. Niveles freáticos altos producen filtraciones hacia las fosas, transportadores y el fondo de los silos, lo cual genera focos de alta humedad donde los mohos crecen y esporulan abundantemente.

En Venezuela, muchos centros para el almacenamiento de granos, fundamentalmente maíz y arroz, fueron construidos en localidades donde la humedad relativa excede el 80% o más, durante muchos meses en el año. Bajo tales condiciones, la aireación es una práctica casi imposible de realizar. Otros centros fueron construidos en la cercanía de represas, caños o ríos, áreas donde el nivel freático se encuentra prácticamente en la superficie del suelo.

Silos y almacenes en Calabozo y Zaraza (estado Guárico), La Flecha y Payara (estado Portuguesa), La Blanca (estado Cojedes), Barinas (estado Barinas), entre otros, son centros de almacenamiento que año tras año mostraron problemas por mohos y micotoxinas por presentar una o más de las condiciones adversas descritas.

### **Monitoreo de insectos plagas de almacén**

El monitoreo de insectos plagas primarias y de otros insectos secundarios es fundamental ya que, como ocurre con las plagas y otros insectos en el campo, son vectores muy eficientes de los mohos en los cereales almacenados; además, ocasionan daño primario que facilita la infección por los mohos y son importantes reservorios de inóculo primario, inclusive en el cuerpo de insectos muertos. En arroz almacenado en Venezuela se encontró que los mohos que se identificaron contaminando los granos, fueron recuperados del interior del cuerpo de todos los insectos plagas colectados e identificados en las mismas muestras (Capobianco y Mazzani, 1984).

### **Aplicación de inhibidores después del acondicionamiento**

La aplicación temprana de inhibidores, inmediatamente después del acondicionamiento de los granos, retarda el crecimiento de los mohos y previene la síntesis de micotoxinas. Algunos inhibidores (sales de ácidos orgánicos como el propionato de sodio) son de uso rutinario en maíz y otros granos para el consumo animal. Los mismos podrían utilizarse con seguridad en granos para el consumo masivo, sobre todo, en regiones o localidades donde el almacenamiento seguro es poco probable porque las instalaciones no son las más adecuadas, las condiciones ambientales son altamente favorables a los hongos o ambas. Investigaciones realizadas en Venezuela mostraron un excelente control de mohos en maíz hasta por 180 días de almacenamiento (Mazzani, 1988; Mazzani *et al.*, 1995, 1998).

### **Detoxificación**

Tratamientos alcalinos de granos contaminados sirven para inactivar las aflatoxinas. Se han utilizado con éxito tratamientos acuosos con  $\text{NH}_4\text{OH}$  y tratamientos gaseosos con  $\text{NH}_3$ , solos o combinados, bajo distintas combinaciones de los factores más importantes involucrados en el proceso (humedad, temperatura, tiempo de exposición, presión y concentración de la toxina). Se logró la reducción del contenido de  $\text{AFB}_1$  desde 90 hasta 99% en granos de maíz y desde 90 hasta 100% en

arroz. También se estudió el efecto de tratamientos con ácidos sobre la reversión del proceso en ensayos simulando la digestión, obteniéndose relativamente bajos niveles de reversión (Martínez *et al.*, 1994; Ying Weng *et al.*, 1994; Millán y Martínez, 2003). Son técnicas que requieren de una infraestructura compleja, son de alto costo y tienen algunos efectos sobre las propiedades organolépticas de los granos, lo cual, sin lugar a dudas, dejaría de tener importancia en situaciones de escasez de materias primas para la industria de alimentos. Si se analiza a profundidad la complejidad de factores involucrados en la producción de alimentos, como cereales y otros cultivos, en Venezuela, pareciera una alternativa poco factible.

## Dilución en la agroindustria

La mezcla de lotes contaminados con lotes limpios es una práctica común de muchas industrias a objeto de bajar los niveles de micotoxinas y cumplir con las tolerancias establecidas, aun cuando no se conocen regulaciones al respecto en Venezuela. Esto es aceptable en situaciones de escasez de materias primas para la industria de alimentos, así como lo es el destinar lotes contaminados para la elaboración de alimentos para animales más tolerantes a las aflatoxinas como bovinos de carne.

## Consideraciones finales

Durante su crecimiento, los mohos que colonizan los granos de maíz y otros granos, alteran su valor nutritivo, decoloran o manchan total o parcialmente los granos, alteran las características organolépticas comunicando a los granos sabores y olores atípicos y ocasionan la muerte del embrión, aspecto que es de interés en procesos industriales donde la pre-germinación de los granos es fundamental. Además de estar involucrados en la pérdida de la calidad, los hongos han recibido especial atención por sus implicaciones tanto en salud pública como animal, derivadas de la síntesis de micotoxinas con las que contaminan los granos.

La magnitud de la colonización y la síntesis de micotoxinas dependen de muchos factores que actúan durante el proceso productivo. Por un lado la susceptibilidad del genotipo sembrado, la agresividad, capacidad toxigénica y presión de inóculo del hongo, el padecimiento de la planta madre por déficit hídrico, los insectos plagas, las condiciones ambientales (humedad y temperatura) durante el cultivo, la época de cosecha y la humedad del grano durante la misma, condicionan la calidad micotoxicológica del producto cosechado. Por otro lado, el tiempo de transporte, del acondicionamiento, la humedad relativa, temperatura y aireación del almacén, el contenido de humedad de los granos almacenados, los daños mecánicos o por insecto y el tipo de almacén, condicionan la calidad final de la materia prima para la industria.

Las micotoxinas más importantes asociadas a granos de maíz producidos en regiones climáticas tropicales y sub-tropicales como las que predominan en Venezuela, son las aflatoxinas, las fumonisinas y las ocratoxinas, sintetizadas principalmente por *A. flavus*, *F. verticillioides* y *A. ocraceus*, respectivamente, y por otras especies de mohos.

La epidemiología e infección de los granos por *A. flavus* está fuertemente influenciada por distintos factores como nivel de inóculo primario en el suelo, factores ambientales, principalmente el estrés por sequía y la temperatura, así como por el genotipo de la planta huésped. *A. flavus* puede colonizar externamente los estigmas, penetrar a través de estos, invadir granos en desarrollo en ausencia de insectos y generar altos niveles de aflatoxinas. Sin embargo, la actividad de numerosos insectos plagas ha sido asociada con altos niveles de aflatoxinas.

La incidencia de *A. flavus* y la producción de aflatoxinas, tan variables entre ciclos de producción del maíz, son consecuencia de un proceso complejo. Ningún factor por separado puede ser identificado como responsable de la inconsistencia en la frecuencia e incidencia de *A. flavus* y de las aflatoxinas. Sin duda, el más limitante parece ser la débil habilidad patogénica del hongo. Muchos factores deben coincidir en el campo para magnificar su patogenicidad. Ciertos años, de baja incidencia, falla la cantidad de inóculo, en otros varía algún factor ambiental y en otros la población de insectos vectores.

Otros mohos y sus micotoxinas, que contaminan granos de maíz, cumplen patrones epidemiológicos similares o más complejos. *F. verticillioides*, patógeno primario de la planta de maíz, es el agente causante de la enfermedad conocida con el nombre de Pudrición del Tallo y de la Mazorca del Maíz. Sintetiza las micotoxinas desde el campo y su actividad persiste durante prolongados períodos de almacenamiento. Se debe tener en cuenta que los granos infectados desde el campo son una fuente potencial de inóculo primario en el almacén, donde también se cumple una compleja epidemiología, dependiente de condiciones ambientales favorables, de la actividad de insectos plagas propias del almacenamiento y de muchos otros factores como el tiempo de almacenamiento, entre otros.

Finalmente, reiterar lo mencionado en párrafos introductorios. En Venezuela, donde prevalecen condiciones altamente favorables para el crecimiento de los mohos y la síntesis de micotoxinas, no se dispone de estadísticas confiables sobre pérdidas durante la cadena de producción del maíz, ni en otros cultivos. La magnitud de la contaminación por mohos y micotoxinas en granos de maíz, arroz, sorgo, café, maní, cacao, entre otros, así como sus posibles implicaciones en salud pública y animal son hasta ahora desconocidos en Venezuela, a pesar de que un considerable número de investigaciones, realizadas a lo largo de los últimos cuarenta años, demostraron la importancia del problema.

El análisis rutinario de aflatoxinas es realizado únicamente en algunas plantas procesadoras de maíz, productoras de harinas precocidas y en otras en las que se producen almidones y hojuelas de maíz, entre otros productos. Esas empresas también generan importantes volúmenes de subproductos para la industria de alimentos balanceados para la alimentación animal.

Las labores de extensión para dar a conocer la existencia del problema, sus implicaciones y su manejo en Venezuela, fueron una actividad continua. Fue así como, desde mediados de la década de los años ochenta hasta el año 2009, el tema de los mohos toxigénicos y las micotoxinas fue incluido en numerosos cursos, seminarios, congresos y talleres nacionales e internacionales celebrados en el país. Los mismos estaban dirigidos a productores del campo, productores agroindustriales, investigadores, técnicos y estudiantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abarca, M.; M. Bragulat; G. Castellá; F. Accensi; F. Cabañes. 2000. Hongos productores de micotoxinas emergentes. *Revista Iberoamericana de Micología* 17: 63-68.
- Alezones, J. 2007. Monitoreo de germoplasma tropical de maíz para resistencia a *Aspergillus flavus* y a la producción de aflatoxinas en grano. Trabajo Especial de Maestría. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela.
- Bacon, C.B.; P.E. Nelson. 1994. Fumonisin production in corn by toxigenic strains of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum*. *Journal of Food Protection* 57: 514-521.



- Balzano, L. 2012. Proteómica comparativa para identificar proteínas de resistencia a *Aspergillus flavus* en granos de maíz. Tesis Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. 193 p.
- Bertsch, A.; G. Domínguez; C. Mazzani; O. Luzón; V. De Basilio; H. Testi. 2010. Caracterización de aditivos enzimáticos obtenidos por monocultivo (*Aspergillus niger*) y cocultivo (*Aspergillus niger* – *Saccharomyces cerevisiae*) y su efecto sobre el comportamiento productivo de pollos de engorde. Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias (UCV) 51(1): 27-35.
- Blumenthal, C.Z. 2004. Production of toxic metabolites in *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* and *Trichoderma reesei*: justification of mycotoxin testing in food grade enzyme preparations derived from the three fungi. Regulatory Toxicology and Pharmacology 39: 214–228.
- Capobianco, A.; C. Mazzani. 1985. Hongos e insectos asociados al arroz (*Oryza sativa* L.) almacenado en Venezuela. VIII Congreso Venezolano de Botánica. Mérida, Venezuela. (Memorias).
- Chavarri, M.; J. Barroyeta; Y. Ochoa; N. Rumbos; J. Alezones. 2017. Detección de *Fusarium verticillioides* y fumonisinas en granos de maíz blanco provenientes de los estados Yaracuy y Guárico, Venezuela. Nova Scientia 9 (2): 171-184.
- Chavarri, M.; J. Iriarte; Y. Ochoa. 2017. Mohos asociados a semillas de maní (*Arachis hypogaea* L.) comercializados en Maracay, estado Aragua, Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (UCV) 43 (2): 37-44.
- Chavarri, M.; C. Mazzani; O. Luzón; C. González; J. Alezones; M.J. Garrido. 2009. Mohos toxigénicos y micotoxinas en maíz de grano blanco cosechado bajo riego en los estados Yaracuy y Portuguesa, Venezuela. Fitopatología Venezolana 22: 2-6.
- Chen, Z-Y.; R.L. Brown; K. Rajasekaran; K.E. Damann; T.E. Cleveland. 2006. Identification of maize kernel pathogenesis-related protein and evidence for its involvement in resistance to *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin production. Phytopathology 96 (1): 87-95.
- da Cruz, L.C.H. 1996. Micotoxinas: sao tao importantes? In: LCH da Cruz (Ed.). Micotoxinas: perspectiva latinoamericana. Río de Janeiro, Brasil. Editora Universidade Rural. pp. 1-12.
- da Cruz, L.C.H. 1997. Problemas en avicultura determinados por micotoxinas. Memorias del II Congreso Latinoamericano de Micotoxicología. Sociedad Latinoamericana de Micotoxicología. Maracay, Venezuela. pp. 18-19.
- da Rocha, C.A. 1997. Nefropatía micotóxica suina (NMS). Memorias del II Congreso Latinoamericano de Micotoxicología. Sociedad Latinoamericana de Micotoxicología. Maracay, Venezuela. pp. 28-30.
- Diener, U.L.; J.C. Cole; T.H. Sanders; G.A. Payne; L.S. Lee; M. Klich. 1987. Epidemiology of aflatoxin formation by *Aspergillus flavus*. Annual Review of Phytopathology 25: 249-270.
- Domínguez, G.; A. Bertsch; C. Mazzani; O. Luzón; V. De Basilio. 2011. Obtención y evaluación nutricional de un aditivo microbiano para la alimentación de pollos de engorde producto de la fermentación de los desechos del pastificio por *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae*. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia 21 (1): 72–79.

- Dowd, P.F. 1991. Nitidulids as a vector of mycotoxin-producing fungi. *In*: O.L. Shotwell; C.R. Hurburgh (Eds.). *Aflatoxin in Corn: New perspective*. Iowa Agriculture and Home Experiment Station, Iowa State University, Ames, Iowa. Research Bulletin 599. pp. 335-342.
- Escalona, H.; M. Chavarri; Y. Ochoa; N. Rumbos. 2017. Mohos toxigénicos asociados a semillas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) comercializados en Maracay, estado Aragua, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 43 (1): 7-14.
- Fortnum, B.A. 1986. Effect of Environment on Aflatoxin Development in Preharvest Maize. *In*: M.S. Zuber; E.B. Lillehoj; B.L. Renfro (Eds.). *Aflatoxin in Maize: A proceedings of the workshop*. CIMMYT, México. D.F. pp. 145-151.
- Gorman, D.P.; M.S. Kang; T. Cleveland; R.L. Hutchinson. 1992. Field aflatoxin production by *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus* on maize kernels. *Euphytica* 61: 187-191.
- Gil-Serna, J.; C. Vázquez; B. Patiño. 2018. Genetic regulation of aflatoxin, ochratoxin A, trichothecene, and fumonisin biosynthesis: A review. *International Microbiology* <https://doi.org/10.1007/s10123-019-00084-2>
- Kang, M.S.; E.B. Lillehoj; N.W. Widstrom. 1990. Field aflatoxin contamination of maize genotypes of broad genetic base. *Euphytica* 51: 19-23.
- Kelly, S.M. 1986. Systemic Infection of Maize Plants by *Aspergillus flavus*. *In*: M.S. Zuber; E.B. Lillehoj; B.L. Renfro (Eds.). *Aflatoxin in Maize: A proceedings of the workshop*. CIMMYT, México, D.F. pp. 187-193.
- Luzón, O.; M. Chavarri; C. Mazzani; V. Barrientos; J. Alezones. 2007. Principales mohos y micotoxinas asociados a granos de maíz en campos de los estados Guárico, Portuguesa y Yaracuy, Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 20: 25-30.
- Luzón, O.; A. Martínez; C. Mazzani; R. Figueroa; V. Barrientos. 2003. Comportamiento de genotipos de maíz de grano amarillo ante *Fusarium moniliforme* y fumonisinas en dos localidades de Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 16: 18-21.
- Mahukua, G.; H. Sila Nziokib; C. Mutegic; F. Kanampic; C. Narrodd; D. Makumbi. 2019. Pre-harvest management is a critical practice for minimizing aflatoxin contamination of maize. *Food Control* 96: 219-226.
- Martínez, A. 2005. Problemática de las ocratoxinas en café verde en Latinoamérica. Conferencia VIII Congreso Latinoamericano de Microbiología de Alimentos. (Memorias). Bogotá, Colombia.
- Martínez, A. 2006. Problemática y situación de la ocratoxina A en café en Latinoamérica. Conferencia VII Encontro Nacional de Micotoxinas, V Congresso Latino-Americano de Micotoxicología y IV Simposio Em Armazenagem Qualitativa de Graos do Mercosur. (Memorias). Florianópolis, Brasil.
- Martínez, A.; C. Ying Weng; D. Park. 1994. Distribution of ammonia/aflatoxin reaction products in corn following exposure to ammonia decontamination procedure. *Food Additives and Contaminants* 11: 659-667.
-

- Mazzani, C. 1983. Micoflora de granos de maní, maíz y cacao almacenados en Venezuela. Trabajo de Ascenso a Profesor Asistente. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 95 p.
- Mazzani, C. 1988. Hongos asociados a granos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) almacenados en Venezuela y su control con propionato de amonio en el Laboratorio. *Fitopatología Venezolana* 1: 54-58.
- Mazzani, C. 1994. Diez años de investigación sobre hongos de granos almacenados en Venezuela. *Phytopathology* 84: 896.
- Mazzani, C. 1996. Ocurrencia de hongos toxigénicos en granos. *In*: Luis Celso Hyginio da Cruz (ed.). *Micotoxinas: perspectiva latinoamericana*. Río de Janeiro, Brasil. Editora Universidade Rural. pp. 13-20.
- Mazzani, C. 1997. Aspectos epidemiológicos de la infección y formación de aflatoxinas por *Aspergillus flavus*. Conferencia invitada. *In*: Memorias II Congreso Latinoamericano de Micotoxicología. Sociedad Latinoamericana de Micotoxicología. Maracay, Venezuela. pp. 15-17.
- Mazzani, C. 2002. Hongos y Micotoxinas asociados a Granos de Maíz (*Zea mays* L.) y su importancia en Venezuela. Conferencia invitada. *In*: Memorias IX Curso sobre Producción de Maíz. ASOPORTUGUESA - INIA. Araure. Venezuela.
- Mazzani, C. 2003. Presencia y Consecuencias de las Micotoxinas en Granos Almacenados. Conferencia invitada. *In*: Memorias VI Seminario sobre actualización en almacenamiento, secado y conservación de granos almacenados. Universidad Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora. San Carlos, Venezuela.
- Mazzani, C. 2018. Consideraciones sobre el muestreo en el diagnóstico de micotoxinas en alimentos. III Encuentro Corporativo Agriquimvet. Barquisimeto, Venezuela.
- Mazzani, C.; P. Beomont; O. Luzón; M. Chavarri. 2004. Micobiota asociada a granos de maíz en Venezuela y capacidad aflatoxigénica in vitro de los aislamientos de *Aspergillus flavus*. *Fitopatología Venezolana* 17: 19-23.
- Mazzani, C.; A. Layrisse. 1990. Efecto de la inoculación y del régimen de humedad sobre la población de *Aspergillus* spp. en el suelo. *Fitopatología Venezolana* 3: 43-45.
- Mazzani, C.; A. Layrisse. 1992. Resistencia de campo de genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.) a la infección de sus semillas por *Aspergillus* spp. *Phitopathologia Mediterránea* (Italia) XXXI: 96-102.
- Mazzani, C.; A. Layrisse. 1994. Reacción de ocho genotipos de maní a la inoculación *in vitro* de sus semillas con cepas locales de *Aspergillus flavus* y *Aspergillus terreus*. *Revista de la Facultad de Agronomía* (UCV) 20: 73-82.
- Mazzani, C.; N. González; O. Luzón; P. Quijada. 1998. Efectividad de una mezcla de ácidos orgánicos en el control de hongos toxigénicos en granos de maíz almacenados en el Estado Portuguesa, Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 11: 36-40.

- Mazzani, C.; O. Borges; O. Luzón; V. Barrientos; P. Quijada. 1999. Incidencia de *Aspergillus flavus*, *Fusarium moniliforme*, aflatoxinas y fumonisinas en ensayos de híbridos de maíz en Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 12: 9-13.
- Mazzani, C.; O. Borges; O. Luzón; V. Barrientos; P. Quijada. 2000. *Fusarium moniliforme* y fumonisinas en granos de híbridos de maíz en el Estado Guárico, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia* 17: 185-195.
- Mazzani, C.; O. Borges; O. Luzón; V. Barrientos; P. Quijada. 2001. Occurrence of *Fusarium moniliforme* and fumonisins in kernels of maize hybrids in Venezuela. *Brazilian Journal of Microbiology* 32: 345-349.
- Mazzani, C.; N. González; O. Luzón; P. Quijada. 1998. Efectividad de una mezcla de ácidos orgánicos en el control de hongos toxigénicos en granos de maíz almacenados en el Estado Portuguesa, Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 11: 36-40.
- Mazzani, C.; O. Luzón; O. Alvarado; M. Chavarri; A. Bertsch; R. Figueroa. 2010. *In vitro* synthesis of ochratoxin-A by venezuelan strains of *Aspergillus niger* isolated from different substrates. In: *Memorias VI Congreso Latinoamericano de Micotoxicología y II Internacional Symposium on Fungal and Algal Toxins in Industry*. Sociedad Latinoamericana de Micotoxicología. Mérida Yucatán, Mexico.
- Mazzani, C.; O. Luzón; N. González; P. Quijada. 1995. Efecto del Shield- Na Plus (Propionato de sodio y sorbato de Potasio) sobre el crecimiento y la esporulación *in vitro* de cinco especies de hongos toxigénicos en Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 8: 37-41.
- Mazzani, C.; O. Luzón; M. Chavarri. 2004. *Aspergillus flavus* asociado a *Epitragus* sp. (Coleoptera:Tenebrionidae) en maíz bajo riego en Turén, estado Portuguesa, Venezuela. *Entomotrópica* 19 (3): 157-159.
- Mazzani, C.; O. Luzón; M. Chavarri; J. Alezones. 2006. Metodología rápida para evaluar *in vitro* la respuesta de genotipos de maíz a la acumulación con aflatoxinas. *Fitopatología Venezolana* 19: 10-14
- Mazzani, C.; O. Luzón; M. Chavarri; M. Fernández; N. Hernández. 2008. *Fusarium verticillioides* y fumonisinas en maíz cosechado en pequeñas explotaciones y conucos de algunos estados de Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 21: 18-22.
- Mazzani, E. 2010. Caracterización del grano de genotipos confiteros de maní en cuanto a su calidad química y micotoxicológica en dos localidades de Venezuela. Tesis Doctorado en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 178 p.
- McGee, D.C. 1988. *Maize Diseases: a reference source for seed technologists*. St. Paul, Minnesota. APS Press. 150 p.
- McMillian, W.W.; N.M. Widstrom; R.W. Beaver; D.M. Wilson. 1991. Aflatoxin in Georgia, Factors Associated with its Formation in Corn: New perspective. O.L. Shotwell; C.R. Hurburgh (Eds.). Iowa Agriculture and Home Experiment Station, Iowa State University, Ames, Iowa. *Research Bulletin* 599. pp. 329-334.
-

- McMillian, W.W. 1986. Relation of Insects to Aflatoxin Contamination in Maize Grown in the Southeastern USA. In: M.S. Zuber; E.B. Lillehoj; B.L. Renfro (Eds.). Aflatoxin in Maize: A proceedings of the workshop. CIMMYT, México, D.F. pp. 194-200.
- Millán, F.; A. Martínez. 2003. Eficacia y estabilidad del proceso de amonificación como tecnología de descontaminación de aflatoxina B<sub>1</sub> en arroz (*Oryza sativa* L.). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 53 (3): 287-292.
- Mujica, M. 2006. Bioconversión de los residuos del procesamiento de pasta alimenticia en etanol por *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae*. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. pp. 20-22.
- Munkvold, G.P.; A.E. Desjardins. 1997. Fumonisin in maize: can we reduce their occurrence? Plant Disease 81: 556-564.
- Narcise, R.; M. Chavarri; C. Mazzani; O. Luzón; R. Figueroa. 2013. Micobiota toxigénica aislada de granos de leguminosas comercializados en la ciudad de Maracay, estado Aragua, Venezuela. Fitopatología Venezolana 26: 11-14.
- Norred, W.P.; K.A. Voss. 1994. Toxicity and role of fumonisins in animal diseases and human esophageal cancer. Journal of Food Protection 57: 522-527.
- Ochoa, Y.; M. Chavarri; C. Mazzani; N. Rumbos. 2015. Determinación de la capacidad fumonigénica de aislados de *Aspergillus niger* de diferentes sustratos. Revista de la Facultad de Agronomía (UCV) 41(3): 109-115.
- Olalekan, S.A. 2019. Aflatoxigenic fungi and mycotoxins in food: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, DOI: 10.1080/10408398.2018.1548429.
- Payne, G.A. 1986. *Aspergillus flavus* Infection of Maize: Silks and Kernels. In: M.S. Zuber; E.B. Lillehoj; B.L. Renfro (Eds.). Aflatoxin in Maize: A proceedings of the workshop. CIMMYT, México. pp. 119-129.
- Pohland, A. 1993. Micotoxinas in review. Food Additives and Contaminants 10: 17-28.
- Ravelo, A.; C. Rubio; A.J. Gutiérrez; A. Hardisson. 2011. La ocratoxina A en alimentos de consumo humano: revisión. Nutrición Hospitalaria 26 (6). Madrid nov/dic.
- Sánchez, T.; A. Betancourt; G. Garcia. 2005. Obtención de productos de valor agregado a partir de suero de leche por fermentación. Memorias II Simposio sobre Biofábricas. UNAL. Medellín, Colombia. pp. 53-59.
- Scussel, V.M. 1998. Micotoxinas em alimentos. Florianopolis, Brasil. Editora Insular Ltda. 144 p.
- Singh, K.; J.C. Frisvad; V. Thrane; S.B. Mathur, 1991. An illustrated manual on identification of some seed-borne *Aspergilli*, *Fusaria* and *Penicillia* and their mycotoxins. Hellrup, Denmark. Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries. 133 p.
- Taniwaki, M.H.; J.I. Pitt; A.A. Teixeira; B.T. Iamanaka. 2003. The source of ochratoxin A in Brazilian coffee and its formation in relation to processing methods. International Journal of Food Microbiology 82: 173-179.

- 
- Tri Nguyen, M.; M. Tozlovanu; T. Luyen Tran; B. Pfohl-Leszkowicz. 2007. Occurrence of aflatoxin B<sub>1</sub>, citrinin and ochratoxin A in rice in five provinces of the central region of Vietnam. *Food Chemistry* 105: 42-47.
- Wallin, J.R.; N.W. Widstrom; B.A. Fortnum. 1991. Maize population with resistance to field contamination by aflatoxin B<sub>1</sub>. *Journal of Science Food and Agriculture* 54: 235-238.
- Wicklow, D.T. 1991. Epidemiology of *Aspergillus flavus* in Corn. In: O.L. Shotwell; C.R. Hurburgh (Eds.). *Aflatoxin in Corn: New perspective*. Iowa Agriculture and Home Experiment Station, Iowa State University, Ames, Iowa. Research Bulletin 599. pp. 315-327.
- Wicklow, D.T.; B.W. Horn. 1984. *Aspergillus flavus* sclerotia form in wound-inoculated preharvest Corn. *Mycologia* 76: 503-505.
- Wicklow, D.T.; D.M. Wilson. 1986. Germination of *Aspergillus flavus* sclerotia in a Georgia maize field. *Transactions of the British Mycological Society* 87: 651-653.
- Widstrom, N.W. 1996. The aflatoxin problem with corn grain. *Advances in Agronomy* 56: 219-280.
- Ying Weng, C.; A. Martinez; D. Park. 1994. Efficacy and permanency of ammonia treatment in reducing aflatoxin levels in corn. *Food Additives and Contaminants* 11: 649-658.
-