

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**Y VETERINARIA**



Trabajo Final presentado para optar  
al Grado de Ingeniero Agrónomo  
Modalidad: Monografía

***“INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA  
PRODUCCIÓN DE AFLATOXINAS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN-  
CONTROL A CAMPO, EN MAÍZ DESTINADO A LA PRODUCCIÓN  
AVÍCOLA”***

LEONARDO DARIO GROSSO  
DNI: 34735901

Directora: Dra. Peralta María F.  
Co-directora: Dra. Magnoli Alejandra P.

Río Cuarto-Córdoba

Noviembre-2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: **INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE AFLATOXINAS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN-CONTROL A CAMPO EN MAÍZ DESTINADO A LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA.**

Autor: Grosso Leonardo Darío  
DNI: 34735901

Director: Dra. Mag. Lic Cs Biol. Peralta María Fernanda  
Co-Director: Dra. M.V. Magnoli Alejandra Paola

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

(Nombres)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Secretario Académico

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer y dedicar el siguiente trabajo, en primer lugar a mi familia que me apoyó desde el primer día para poder llegar a la meta de poder finalizar la carrera.

Agradezco también a la Universidad Nacional de Río Cuarto que me permitió formarme como Ingeniero Agrónomo.

Gracias a mis directoras María F. Peralta y Alejandra P. Magnoli por su predisposición y la ayuda para realizar esta monografía.

Además quiero agradecer al jurado Raúl Miazso y Armando Nilson por las sugerencias aportadas a la corrección.

## INDICE

	<b>Páginas</b>
<b>RESUMEN</b>	VI
<b>SUMMARY</b>	VII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>EL MAIZ COMO PRINCIPAL COMPONENTE EN LAS DIETAS DE LAS AVES COMERCIALES</b>	1
<b>Antecedentes</b>	1
<b>Características del maíz</b>	2
<b>Tipos o variedades</b>	3
<b>Condicionantes del cultivo</b>	5
Clima	6
Sistema de labranza	6
Rotación del cultivo	6
Disponibilidad del agua y la temperatura del suelo	7
Elección del híbrido	7
Fecha y densidad de siembra	8
Fertilización	8
Control de las malezas, plagas y enfermedades	8
Cosecha	9
<b>Estadística de la producción nacional</b>	9
<b>Zonas de producción</b>	11
<b>Factores que modifican la calidad del grano de maíz</b>	12
Genotipo	12
Proceso de cosecha	12
Manejo y ambiente	13
<b>LAS AFLATOXINAS COMO FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL GRANO DEL MAIZ</b>	13
<b>Hongos del genero <i>Aspergillus</i>, producción de aflatoxinas</b>	14
<b>Las aflatoxinas</b>	15
Metabolismo o biodegradación	16
Impacto de las micotoxinas sobre los integrantes del sistema que utilizan al maíz como materia prima	18
Legislación actual existente	20
Las aflatoxinas en el maíz destinado al consumo animal	21
<b>INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA PRODUCCIÓN DE AFLATOXINAS</b>	23
<b>Importancia del cambio climático</b>	23
<b>Efecto del cambio climático sobre la modificación de las variables climáticas y su relación con la contaminación de las aflatoxinas</b>	24
<b>Otros componentes del sistema agrícola que favorecen la infección de los hongos</b>	26
Plagas	26
Condiciones predominantes alrededor de la cosecha	27
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL A CAMPO PARA REDUCIR LOS RIESGOS DE CONTAMINACIÓN CON AFLATOXINAS</b>	27
<b>Buenas Prácticas Agrícolas</b>	27
<b>Rotación del cultivo</b>	28
<b>Sistema de labranza</b>	28
<b>Elección del híbrido</b>	29

<b>Fecha de la siembra</b>	30
<b>Riego</b>	30
<b>Fertilización</b>	31
<b>Control de malezas</b>	31
<b>Control de plagas</b>	32
<b>CONCLUSIÓN</b>	33
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	34
<b>ANEXO</b>	39

## RESUMEN

El maíz es uno de los principales componentes que aporta energía en la dieta de los sistemas de producción de aves de carne y de huevo. Este cultivo depende de innumerables factores para completar su desarrollo, dentro de los cuales el clima de la región en la que está sembrado es fundamental. En los últimos años se ha presentado un fenómeno que afecta a toda la humanidad, conocido como el cambio climático, el cual modifica principalmente la temperatura y la humedad ambiente. Esto impacta directamente sobre las condiciones que rodean al cultivo e indirectamente favorece el crecimiento fúngico y la posible producción de micotoxinas. Las diferentes especies del género *Aspergillus* producen toxinas denominadas aflatoxinas, tanto la presencia del hongo como la producción de estas toxinas afectan la calidad del grano de maíz. Estas aflatoxinas producen efectos adversos sobre la salud animal y humana, produciendo pérdidas económicas cuantiosas. Sin embargo se pueden disminuir estas consecuencias negativas aplicando las buenas prácticas agrícolas: la rotación del cultivo, la elección de híbrido, la fecha de siembra, el sistema de labranza, el riego, la fertilización, el control de las malezas y de las plagas. Estas prácticas aplicadas correctamente y en conjunto pueden ayudar a prevenir y controlar a campo los efectos adversos causados por estos hongos, de allí su importancia de difundirlas a los productores agropecuarios.

Palabras claves: MAIZ, AFLATOXINAS, CAMBIO CLIMATICO, BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS.

## SUMMARY

Corn is one of the main components which provides energy in the diets of avian production systems to produce meat and eggs. This culture depends on numerous factors for finishing this growth, the main factor involved is the climate of the region where corn is sown. In the last years it has arisen a phenomenon that affects all of humanity, known as climate change, modifying the temperature and the humidity mainly. This impacts directly over the conditions surrounding the crop and indirectly increases the mycotoxin production. The different species of *Aspergillus* genera produce toxins, named aflatoxin. It is noted that both the presence of the fungus and the toxin produced have adverse effects over the animal health and human health, with important economic losses. Nevertheless, it is possible to diminish these negative effects applying anything known as good farming practices: crop rotation, hybrid selection, seedtime, tillage system, irrigation, fertilization, weed and pest control. These practices applied in appropriate way, can help to prevent and control the negative effects generated by these fungi's, that is why it is important their diffusion to the agricultural producers.

Key words: CORN, AFLATOXIN, CLIMATE CHANGE, GOOD FARMING PRACTICES

## INTRODUCCIÓN

### EL MAÍZ COMO PRINCIPAL COMPONENTE EN LAS DIETAS DE LAS AVES COMERCIALES

#### Antecedentes

El maíz (*Zea mays L.*) es originario de Mesoamérica, distribuyéndose desde México hasta la Región Andina de América del Sur. Este cereal es una fuente de alimento esencial, en particular en las zonas rurales, donde el acceso a la tecnología y a las variedades mejoradas es limitado. Durante la selección y la transformación que iniciaron los indígenas americanos hace más de 8000 años, el maíz cultivado ganó varias cualidades nutricionales, pero perdió la capacidad de sobrevivir en forma silvestre (Marín Gómez, 2008; Bonilla Morales, 2009; Flores, 2011; Ferrer, 2015).

A fines del siglo XV el maíz fue introducido en Europa, donde se convirtió en un factor clave de la alimentación humana y animal. Debido a su gran productividad y adaptabilidad, se extendió rápidamente a lo largo de todo el planeta y hoy se desarrolla en todos los continentes, donde ocupa la tercera posición en cuanto a la producción total de cereales, detrás del arroz y del trigo. En el siglo XX, el maíz se fue mejorando a través de líneas genéticamente uniformes, a partir de las cuales se logró obtener las semillas híbridas con cualidades superiores. Los avances de la biología molecular y de las técnicas de ingeniería genética abren una nueva etapa en la biotecnología aplicada a la agricultura y ofrecen nuevas tecnologías para la producción. Los nuevos híbridos presentan mayor rendimiento y mejores características agronómicas, con la capacidad de tener un mejor comportamiento frente a las enfermedades y las plagas. El maíz, como un producto de valor, ha evolucionado positivamente a lo largo de su historia. Con el correr de los años, las industrias vinculadas a la cadena de valor del maíz se han ido desarrollando en forma progresiva, transformando un grano cuyo único destino era la alimentación humana, en una materia prima esencial para el desarrollo de múltiples procesos industriales. Este fenómeno de transformación ha avanzado tanto en aquellos países que lo producen en gran cantidad (EE.UU, China y Brasil, por ejemplo) como en aquellos que deben importarlo para abastecer sus industrias (Japón o Corea). Estos procesos industriales son llevados adelante por la capacidad de generación de empleo e inversión en dichos países, dando origen al desarrollo regional y a innumerables oportunidades de crecimiento y de progreso. Esta característica impacta sobre todos los eslabones que componen la cadena de valor del maíz,



desde el desarrollo de la ciencia y la tecnología, hasta el consumidor (Marín Gómez, 2008; Bonilla Morales, 2009; Ferrer, 2015).

En la cadena de valor del maíz, uno de los destinos en el cual se utiliza, es en la alimentación de los animales monogástricos, aportando principalmente energía a las dietas y derivando en un componente clave para sostener los sistemas de producción avícolas, entre otros (Bragachini, 2010) (Figura 1).



Figura 1: Cadena de valor del maíz (adaptado de Bragachini, 2010).

### **Características del maíz**

El maíz es un cultivo anual; el ciclo de producción, desde que se siembra hasta que se cosecha, dura aproximadamente 130-150 días. Este cultivo es considerado un cereal de verano y de cosecha gruesa, por la época del año en que se desarrolla su ciclo y por el tamaño del grano. Se define como cereal a las especies de la familia de las gramíneas, caracterizadas por producir frutos almidonosos, para la alimentación animal y humana, ya sea en su estado original o procesado (Marín Gómez, 2008; Bonilla Morales, 2009; Flores, 2011).

El fruto del maíz de endosperma amiláceo se denomina vulgarmente grano; éste contiene principalmente almidón, responsable del aporte de la energía metabólica fácilmente obtenible.

En el grano se pueden diferenciar básicamente tres partes, un endosperma que es fuente de almidón y de proteínas, un pericarpio que funciona como una cubierta de protección y un germen, que es la única parte viviente (Marín Gómez, 2008) (Figura 2).

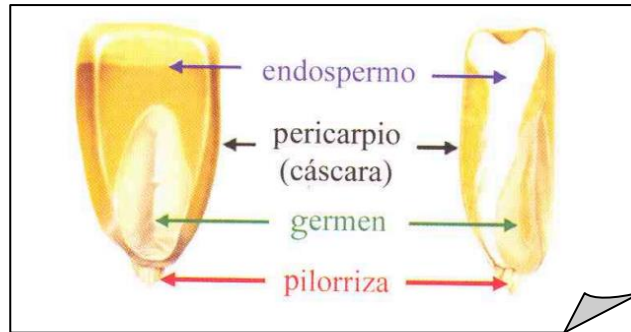


Figura 2: Estructura y composición del grano de maíz (Benítez Cardoza, 2006).

El maíz es la materia prima más usada en la alimentación de los cerdos y de las aves como fuente de energía (3400 Kcal EM/Kg de alimento), la cual es generada por los hidratos de carbono (almidón) y las fibras, que están contenidas en el endosperma; posee un bajo contenido de proteína bruta (8,8 %), representada por un alto contenido de aminoácidos azufrados, como la metionina y la cistina y un bajo contenido de lisina y de triptófano; además es pobre en calcio y el aceite representa el 5 % del peso seco del grano, encontrándose en el germen (Marín Gómez, 2008).

### **Tipos o variedades**

Según el tamaño de los granos de almidón en el endosperma, se pueden distinguir dos partes: una vítrea, en la que los granos van a ser más pequeños, y otra harinosa, donde los granos van a ser de mayor tamaño. Según las proporciones de estas dos partes, el maíz se puede clasificar en los siguientes tipos:

- Maíz dentado (Dent corn): caracterizado por una depresión en el grano que se produce al desecarse el mismo. Tiene un predominio de estructura harinosa.
- Maíz liso o duro (Flint corn): su forma es más redondeada, son duros, ricos en proteínas y predomina una textura vítrea. En general, éste es el tipo que más se produce en nuestro país.
- Maíz córneo-dentado: presenta características intermedias entre los dos anteriores (cruce de línea pura lisa x dentada).

- Maíz para palomitas (Pop corn): es de grano pequeño, extremadamente vítreo, de tal forma que explota al someterlo a elevadas temperaturas.

La mejora genética permite variar la composición de los granos, dando lugar a otros maíces especiales como el caso del maíz dulce (Sweet corn), que no contiene almidón sino compuestos azucarados que son muy apreciados en la alimentación humana. El maíz céreo (Waxy corn) es otro caso especial, que está formado exclusivamente de amilopectina, lo que le confiere propiedades interesantes para la industria de fabricación de almidón y de la industria chacinera (gelatinas) (Marín Gómez, 2008; Flores, 2011).

Dentro de las variedades, se encuentran los maíces de grano blanco, amarillo y colorados. Estos tipos son similares en su composición general, a excepción del contenido de caroteno que es mayor en los últimos. El pigmento carotenóide de mayor incidencia en el color del grano de maíces argentinos es la zeaxantina (maíces colorados) y luteína (maíces amarillos) (Presello *et al.*, 2015). El caroteno es un compuesto importante en la producción avícola de nuestro país, ya que da la coloración a la piel del pollo parrillero y a la yema del huevo, en caso de ponedoras comerciales, coloración exigida por el consumidor argentino (Bennett y Klich, 2003; Flores, 2011) (Figura 3).



Figura 3: Producción avícola de carne y de huevo (Gibert, 2011; Marcial, 2014).

Tradicionalmente Argentina ha sido un importante productor de maíz de granos córneos y con intensa coloración, que se exporta a países europeos y recibe un sobreprecio en relación a maíces menos córneos, ya que tienen una menor tendencia al deterioro durante el transporte y almacenamiento. Actualmente se produce principalmente maíz tipo duro (Flint), de endosperma vítreo y colorado, de buena calidad. Gran parte de su producción se destina a la exportación, como grano y el resto es para consumo interno.

En el país, se lo utiliza bajo molienda húmeda, para la obtención de almidón y glucosa para la industria de las golosinas. Otros productos derivados de su industrialización son: aceites, margarinas, jabones, cosméticos, mayonesas, sémola, polenta, copos (cereales para el desayuno), destilería (el whisky, la cerveza y el bioetanol), etc. Además, el maíz tiene una importante intervención en las comidas regionales (básicamente los maíces dulces).

Finalmente es importante su contribución a la alimentación animal, en la elaboración de alimento balanceado para monogástricos y en forma de ensilaje de la planta entera, destinándose anualmente alrededor de 600.000 hectáreas con esta finalidad. El grano cristalino colorado es requerido por los productores avícolas, para elaborar la dieta de los animales de granja, como se mencionó anteriormente, característica requerida por el consumidor de productos avícolas argentino (Flores, 2011; Eyhérbide, 2015; Rabutti, 2015) (Figura 4). Debido a las ventajas que posee el maíz, presenta numerosos usos a nivel mundial; una de ellas es la rotación de los cultivos, ya que aporta una considerable cantidad de carbono al suelo, el cual es aprovechado por los cultivos siguientes. Además, es utilizado como una materia prima de origen vegetal en la alimentación animal; entre ellas la producción avícola, donde compone el 60-70 % de las dietas, siendo una fuente de energía, aminoácidos y xantófilas; ésta engloba principalmente a la producción de carne de pollos parrilleros y a la producción de huevos comerciales (Rodríguez, 2013; Totis de Zeljkovich, 2015).

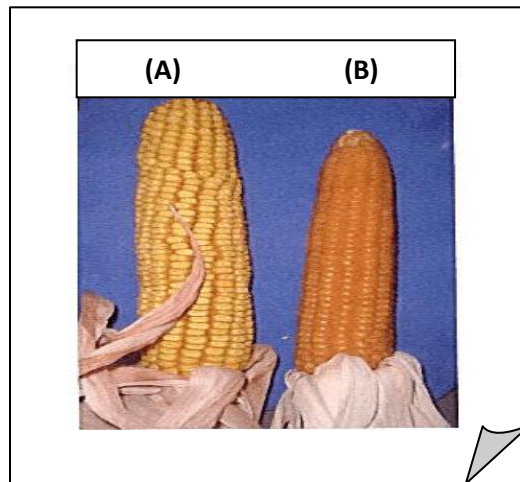


Figura 4: Variedades del maíz tipo dentado (A) y duro (B) (INTA, 2013).

### **Condicionantes del cultivo**

En el manejo de todo sistema productivo, incluido el del maíz, se deben tener en cuenta varios factores que influyen sobre una especie vegetal para tratar de obtener buenos resultados

en la producción, tanto en la cantidad como en la calidad. Existen numerosos condicionantes en la producción de una especie, pero en este trabajo se resaltarán aquellas que alcanzan al cultivo e indirectamente favorecen el crecimiento de los hongos y la consecuente producción de micotoxinas que afectarán al maíz. Estos condicionantes son: el clima, el sistema de labranza, la rotación de los cultivos, la disponibilidad del agua, la temperatura del suelo, la elección del híbrido, la fecha y la densidad de siembra, la fertilización, el control de las malezas, las plagas y enfermedades, la cosecha, entre otros (Bonilla Morales, 2009; Flores, 2011; Botta y González, 2015; Cirilo *et al.*, 2015; Totis de Zeljkovich, 2015).

### **Clima**

La temperatura y el fotoperíodo son las variables climáticas más importantes que regulan el desarrollo del cultivo, debido a que las mismas varían según el sitio y no se pueden modificar, condicionando el rendimiento potencial de la especie (Flores, 2011; Totis de Zeljkovich, 2015).

En cuanto al fotoperíodo, el maíz es un cultivo de días cortos, con un requerimiento térmico de 1200-1700°C/d y los cultivos de días largos, que tienen un requerimiento térmico de 1600-2100°C. Estos requerimientos térmicos varían con el genotipo. Fuera de la condición de días cortos, la especie acelera su desarrollo (umbral fotoperiódico de 12,5 horas). La temperatura base de desarrollo es de 8°C, la óptima de 32 a 35°C y la extrema superior de 40 a 42°C (Totis de Zeljkovich, 2015).

### **Sistema de labranza**

Cualquier tipo de cultivo sembrado requiere de las medidas de manejo mínimas para lograr obtener una buena producción. Antiguamente los cultivos se hacían bajo labranza convencional en donde se realizaban labores que removían el suelo con el objetivo de lograr una óptima cama de siembra; en la actualidad se utilizan técnicas alternativas como la labranza mínima, la siembra directa que buscan remover el suelo lo menos posible, con ventajas como un menor número de labores, menor erosión, mejor conservación del agua y de materia orgánica. Además de la labor de la siembra se necesita fertilizar, regar, pulverizar y cosechar, cada una de dichas actividades varían de acuerdo al sistema productivo, que adopta cierta escala tecnológica, pero siempre con el mismo fin, que es lograr obtener una producción a partir de un cultivo (Cirilo *et al.*, 2015)

### **Rotación de cultivos**

A la hora de realizar un cultivo, se debe realizar previamente una planificación del esquema de rotación, donde siempre es importante alternar especies cultivables de distinta familia, ya que trae aparejado innumerables ventajas como una mejor conservación del agua y de la materia orgánica y una menor incidencias de las plagas, enfermedades y malezas, entre otras (Cirilo *et al.*, 2015).

### **Disponibilidad del agua y la temperatura del suelo**

El maíz es muy exigente en cuanto a las características del suelo, éste aspecto es un factor limitante importante para su producción. Este cultivo es particularmente sensible a la falta de agua sobre todo en el momento de la floración; esa agua disponible no debe ser salina, con valores superiores a 1,7 dS/m (decisimen por metro) comienza a afectar al cultivo. Como referencia se puede mencionar que las necesidades hídricas del cultivo durante todo su ciclo varían entre los 400-700 mm anuales, dependiendo de la demanda atmosférica del lugar, éste último está influenciado por el momento del estado fenológico en el que se encuentra, fluctuando entre 2-8 mm/día. También se debe considerar que no soporta la asfixia radicular, condición dada en los suelos compactos o con un mal drenaje (Boletín agrario, 2016; Bonilla Morales, 2009; Flores, 2011; Cirilo *et al.*, 2015; Totis de Zeljkovich, 2015).

Respecto a la temperatura del suelo, el maíz es especialmente sensible durante la germinación-emergencia, requiriendo un mínimo de 12°C para la germinación. Esta temperatura puede, hasta cierto punto, modificarse mediante el manejo de los restos orgánicos en la superficie y con el riego (Boletín agrario, 2016; Cirilo *et al.*, 2015).

### **Elección del híbrido**

Mediante la biotecnología y el mejoramiento convencional, se han generado cultivares con atributos especiales como resistencia a herbicidas, híbridos transgénicos con resistencia a insectos. Por ejemplo, los que proveen resistencia a insectos lepidópteros (176, Mon810, Bt11, Hx1), tolerancia al herbicida glifosato (GA21, NK603), entre otros. A partir del año 2007, surgieron híbridos que combinaron dos o más transgenes y aportando al cultivo ambas características como por ejemplo, tolerancia al herbicida glifosato y resistencia a insectos lepidópteros (NK603 + MON810). Los cultivares que se protegen contra insectos son conocidos comúnmente como maíces 'Bt', éstos poseen genes de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*, que producen sustancias (proteínas Cry) con efecto insecticida sobre lepidópteros y algunos coleópteros. El uso de híbridos Bt reduce los daños causados por insectos

barrenadores, como por ejemplo *Diatraea sp.*, siendo un importante elemento para el control integrado de estas plagas y reduciendo significativamente las pérdidas directas e indirectas de rendimiento (INTA, 2013; Eyhérbide, 2015; Presello *et al.*, 2015).

### Fecha y densidad de siembra

La fecha de la siembra depende de cada lugar; fuera del periodo libre de las heladas y cuando se dan las condiciones de la temperatura y la humedad adecuada para la germinación-emergencia se puede empezar la siembra del cultivo, considerando también la humedad acumulada del suelo para el resto de su desarrollo. Para nuestra zona se puede tomar como una fecha de siembra temprana a mediados de Septiembre y como una fecha de siembra tardía a mediados de Diciembre (Cirilo *et al.*, 2015) (Figura 5).

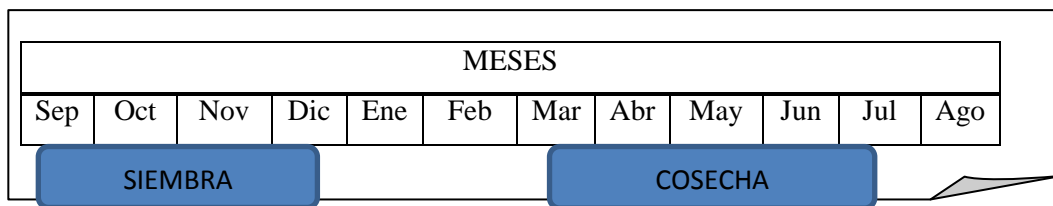


Figura 5: Ciclo del cultivo (adaptado de Materia prima agroindustrial, 2011).

En cuanto a la densidad, en condiciones de secano (sin riego) fluctúa entre 60.000-70.000 pl/ha (plantas por hectáreas), aproximadamente 3 plantas por metro lineal; la distancia entre el surco varía de 0,35 a 0,70 metros. En los sistemas bajo riego y con una alta dosis de fertilizante la densidad puede llegar hasta 120.000 pl/ha (Cirilo *et al.*, 2015; Totis de Zeljkovich, 2015).

### Fertilización

La fertilización equilibrada es algo vital para alcanzar un buen desarrollo en un cultivo y lograr una óptima producción; los requerimientos de los macro-micronutrientes básicos para el maíz, son: Nitrógeno: 22 kilogramos por hectárea (Kg/ha), Fosforo: 4 Kg/ha., Azufre: 4 Kg/ha., Zinc: 0,053 Kg/ha. (Bonilla Morales, 2009).

### Control de las malezas, plagas y enfermedades

Las malezas compiten por el agua, la luz y los nutrientes con el cultivo, por eso es importante su control. Es crucial que el maíz cubra el surco lo más rápido posible para evitar el efecto negativo causado por las malezas. En el barbecho podemos encontrar a las malezas de

otoño-inverno finalizando su ciclo y a las malezas primavera-estival, que están emergiendo y que se van a desarrollar durante el transcurso del cultivo (Botta y González, 2015).

Las plagas y enfermedades afectan la producción de biomasa de la especie cultivada, y como consecuencia la producción de la misma. Dentro de las primeras podemos nombrar a la oruga cortadoras (*Agrotis sp*), el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), el barrenador del tallo de maíz (*Diatraea saccharalis*), la oruga de la espiga (*Helicoverpa zea*), entre otras; las segundas se refieren a los virus como el Mal de Río Cuarto (MRCV) y a los hongos como los del género *Aspergillus*, el Tizón de la hoja del maíz (*Exserohilum turcicum*) y la Roya común del maíz (*Puccinia sorghi*) (Bonilla Morales, 2009; Botta y González, 2015).

### **Cosecha**

La cosecha se realiza en forma mecánica una vez finalizado el ciclo del cultivo, durante este proceso, las condiciones climáticas son clave para el secado final del grano. El maíz alcanza su madurez fisiológica con aproximadamente 23% de humedad, luego de este estado, solo queda esperar que la humedad del grano alcance el 14,5%, condición ideal para su cosecha y su almacenamiento (Bonilla Morales, 2009).

### **Estadística de la producción nacional**

El contexto de la producción del maíz ha cambiado con respecto al histórico, con datos de referencia desde el año 1961 a la actualidad, la rotación soja: maíz varió de 1:1 a 5:1, la producción nacional varió de 5 a 37,9 millones de toneladas anuales, el rinde promedio aumentó de 2000 a 8000 kilogramos por hectáreas y la superficie sembrada actual oscila en 4.800.000 hectáreas (Muñoz, 2015; Infobae economía, 2017).

Según un informe económico del INTA-Marcos Juárez, 2016-2017, el maíz presenta buenas perspectivas no sólo en cuanto a su producción (cantidad de ha sembradas) sino respecto a su exportación a nivel mundial (17-18 millones de toneladas). La suma de los cambios en la política económica y sectorial junto a la difícil situación climática en la cosecha 2015/16 produjo un importante impulso positivo en los valores del maíz. Frente a un escenario de excesos de lluvias en nuestro país, se recortó la producción estimada de soja en 5 millones de toneladas (Tn), lo que impactó de lleno en Chicago, al ser Argentina parte de oferta mundial de esa oleaginosa. Además, el último informe del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), estimó un recorte en la producción de maíz de Brasil, Canadá y la Unión Europea en 3,7 millones de Tn, a la vez que subió las estimaciones de área sembrada, producción y stock en EE.UU (2016/2017). Para nuestro país, el USDA mantuvo sin cambios las proyecciones tanto de



demanda como de oferta, con una producción que alcanzaría las 34 millones de Tn. Al menos que haya dificultades climáticas severas, se logrará un nuevo récord de producción mundial de maíz, con aumento del área sembrada en EE.UU y Argentina, lo que denota el optimismo prevaleciente sobre este cultivo, con miras en la demanda firme impulsada desde la producción de proteínas animales, fundamentalmente de carnes (Giletta, 2016; Ghida Daza, 2016).

En nuestro país, el ministro de agroindustria, Ricardo Buryaile afirmó que en la campaña 2015/2016 la producción Argentina del cereal totalizó 37,9 millones de Tn y se espera un aumento para la siguiente campaña de hasta 52 millones de Tn por un incremento de un 20 % en la superficie sembrada, en detrimento del área sembrada con soja (Infobae economía, 2017).

Argentina es el cuarto exportador mundial luego de Estados Unidos, China y Brasil; de la producción nacional el 70 % se exporta y el 30 % se consume en el mercado interno como grano y/o cultivo destinado al alimento de animales bovinos, cerdos y aves (Muñoz, 2015).

Distintas evidencias marcan que el consumo interno de este cereal se ha fortalecido enormemente en los años recientes. Las faenas avícolas y porcinas mantuvieron altas tasas de crecimiento en la última década, al mismo tiempo que se desarrollaron usos industriales más sofisticados, como la molienda para producción de bioetanol, sumado a un incremento de los saldos exportables (Muñoz, 2015).

En la tabla 1 y 2 se observa los diferentes destinos del maíz en Argentina. Del consumo interno (13-14 millones de Tn), 11,7 son destinadas a la alimentación animal y 1,4 a la alimentación humana. Dentro de la alimentación animal la ganadería consume 6 millones de Tn, la producción avícola 3,5 millones de Tn (1 millón para producir huevos y 2,5 millones para producir carne de pollo parrillero) y producción porcina 1 millón de Tn. Además, es importante destacar que el maíz presenta otros usos por ejemplo como un recurso forrajero (600.000 Tn), en la producción de bioetanol (500.000 Tn), en semilla (183.000 Tn), y en la producción de alimentos para mascotas (300.000 Tn), entre otros (Funes, 2015).

Tabla 1: Destinos de la producción de maíz (millones de toneladas)

<b>Producción Nacional</b> (2013)	Exportación		Consumo interno
30	17-18		13-14
<b>Alimentación humana</b>	Molienda seca (molinería)		Molienda húmeda (destilería)
1,4	SD		SD
<b>Alimentación animal</b>	Ganadería	Avícola	Porcinos
11,7	2,7 (leche) - 3.3 (carne)	1 (huevos)- 2,5 (carne)	1

(Adaptado de Funes, 2015). SD: sin dato

Tabla 2: Otros destinos de la producción de maíz en Argentina (toneladas)

Raciones forrajeras	Bioetanol	Semilla (siembra)	Alimentos mascotas, otros.
600.000	500.000	183.000	300.000

(Adaptado de Funes, 2015).

### Zonas de producción

La Argentina presenta una gran extensión de superficie cultivable, con una gran variedad de climas y suelos, lo que determina los principales condicionantes donde el cultivo crece y se desarrolla. El maíz es un cultivo anual estival realizado en forma extensiva, cultivado en las diferentes zonas con ciertas características de climas y suelos, las cuales deben solaparse con los requerimientos del cultivo, dicha interacción define su producción (Totis de Zelkovich, 2015).

Este cultivo tiene la capacidad de adaptarse a las diferentes condiciones debido a su gran plasticidad ecológica e incluso se han diseñado estrategias de manejo, como por ejemplo el riego, la elección de los híbridos, que hacen posible ampliar las zonas de su cultivo.

En la actualidad la producción del maíz se encuentra distribuida prácticamente en toda la Argentina, hasta la latitud 40° Sur, que atraviesa transversalmente a la provincia de Río Negro (Muñoz, 2015; Totis de Zelkovich, 2015; Couretot, 2016) (Figura 6).

El 60 % de la producción Argentina se encuentra concentrada en la zona núcleo maicera (norte de Buenos Aires, sur de Santa Fe y oeste de Córdoba), el resto está distribuido en las provincias de Entre Ríos, La Pampa, Chaco y otras provincias (Muñoz, 2015; Totis de Zelkovich, 2015) (Figura 7).

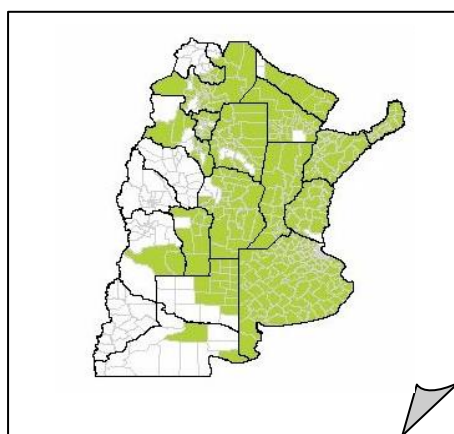


Figura 6: Dispersión geográfica del cultivo en función del área sembrada promedio de las últimas cinco campañas (Materia prima agroindustrial, 2011).

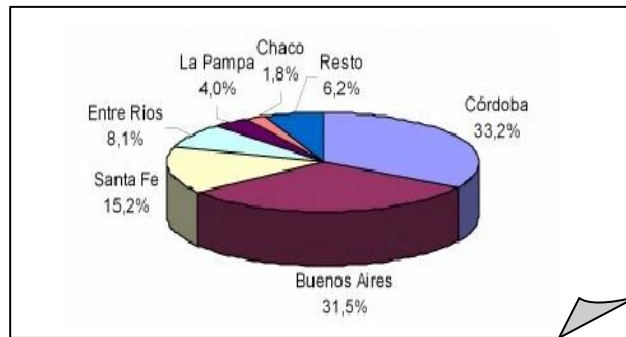


Figura 7: Producción total por provincia (datos promedios del último quinquenio) (Materia prima agroindustrial, 2011).

### **Factores que modifican la calidad del grano de maíz**

Diversos factores determinan la variabilidad nutricional del maíz, causando la pérdida de su calidad, lo que impacta directamente en forma negativa sobre la producción avícola; uno de esos factores y de gran importancia en la actualidad por su presentación frecuente es el crecimiento fúngico y la contaminación con las micotoxinas (Materia prima agroindustrial, 2011).

#### **Genotipo**

La manipulación genética permite variar la composición nutricional de los granos. Como se mencionó anteriormente existen diferentes tipos, como los maíces dulces, los céreos, los dentados, los duros, los amarillos, los colorados, entre otros. La utilización de uno u otro tipo de maíz depende de la demanda del mercado (Marín Gómez, 2008; Flores, 2011).

#### **Proceso de la cosecha**

La calidad de la materia prima se ve afectada desde una mala decisión de la época de la cosecha, que genera los granos húmedos, hasta los errores en la regulación de la máquina cosechadora, que puede derivar en los granos partidos y en la falta de limpieza. Esto trae como consecuencia que el grano sea colonizado con mayor facilidad por los hongos productores de micotoxinas, teniendo consecuencias negativas a posteriori (Bonilla Morales, 2009) (Figura 8).



Figura 8: Maíz contaminado por *Aspergillus* (CIMMYT, 2017).

### Manejo y ambiente

Existen varias cuestiones relacionadas al manejo del cultivo y a las condiciones del clima y del suelo, que afectan la calidad del grano. La disponibilidad de nitrógeno en el suelo, la deficiencia en el agua, la ocurrencia de las heladas, la baja insolación y las temperaturas durante el llenado del grano, la alta humedad relativa al momento de la madurez fisiológica, la presencia de las malezas, los daños causados durante el proceso de la cosecha (granos partidos) favorecen la proliferación de los hongos, como el *Aspergillus* y de insectos como el barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*), éste último a través de su daño favorece la entrada de patógenos a la planta de maíz (Materia prima agroindustrial, 2011) (Figura 9).



Figura 9: Problemas sanitarios del maíz (Materia prima agroindustrial, 2011).

## LAS AFLATOXINAS COMO FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL GRANO DEL MAÍZ.

Los hongos son miembros del reino Fungi. Son organismos eucariotas y están extendidos por todo el mundo viviendo en el suelo, en la materia en descomposición, en simbiosis con

plantas, en animales y en otros hongos. Tienen un papel muy importante en los ecosistemas, participando en la descomposición de la materia orgánica. Muchas de sus especies han sido utilizadas como fuente de alimentación para los seres humanos, como las setas y las trufas, y en la fermentación de alimentos para su transformación, como en el caso del vino, la cerveza o los quesos. Los hongos también se utilizan para obtener antibióticos y enzimas de importancia para la industria de la alimentación, de la farmacológica, de detergentes, etc. Muchos hongos producen compuestos biológicamente activos, algunos de ellos tóxicos para plantas y animales, incluidos los seres humanos. Estas sustancias son conocidas como micotoxinas.

Los hongos no forman un grupo taxonómico o filogenético, sino que se engloban en dos familias: Zigomicetos y Ascomicetos, pues comprenden las especies de hongos micotoxigénicos más importantes: *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, principales especies toxicogénicas que contaminan los alimentos para aves (CAST, 2003).

### **Hongos del género *Aspergillus*, productores de aflatoxinas**

Las especies del género *Aspergillus* son saprófitas y pueden crecer sobre un amplio rango de sustratos naturales y de condiciones climáticas. Ellos poseen gran versatilidad metabólica y habilidad para dispersar sus esporas en el ambiente. Si bien muchas especies son benéficas, como las que producen alimentos fermentados, otras son patógenas productoras de micotoxinas, representando un riesgo real para la sanidad animal y la salud humana (CAST, 2003). El género *Aspergillus* fue descrito por primera vez por Antonio Micheli en 1729, quien aplicó el nombre *Aspergillus* al estado imperfecto del hongo (anamorfo). Los principales lineamientos para la clasificación de este género se dividen en 6 subgéneros cada uno con una o más secciones, y se consideran más de 200 especies (CAST, 2003).

Dentro de las especies de *Aspergillus* (A.) más importantes encontramos *A. flavus*, *A. parasiticus* y *A. nomius*, de las cuales todas son productoras de Aflatoxinas (AFs). La sección *flavi*, integrada por la especie *A. flavus*, está presente en el suelo y contamina una amplia variedad de productos agrícolas. La contaminación puede darse en el campo, en el almacenamiento, en las plantas procesadoras de alimentos y en su distribución. Con respecto a su hábitat, en regiones de clima templado *A. flavus* es más común que colonice el maíz, siendo los esclerocios (estructuras de reproducción) depositados en el suelo, la principal fuente de contaminación del cultivo. Por otro lado *A. parasiticus*, está más adaptado a las regiones tropicales (CAST 2003). En un estudio de incidencia realizado en espigas de maíz cultivadas en la Argentina (Córdoba y Santiago del Estero), los géneros fúngicos encontrados mas predominantes fueron *Aspergillus* y *Penicillium* (Camiletti *et al.*, 2014). Numerosos

investigaciones muestran la presencia de los géneros toxicogénicos *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* como contaminantes principales en alimentos balanceados para pollos parrilleros destinados a diferentes etapas de su crecimiento. En un estudio realizado en Argentina, durante un período de 3 años, se observó que *Aspergillus spp.* contaminaba entre el 52 al 85% de las muestras, *Penicillium spp.* entre el 52 al 98% y *Fusarium spp.* entre el 70 al 87% (Dalcero *et al.*, 1997, 1998; Magnoli *et al.*, 2002, 2005). En otro estudio realizado en Brasil se observó la presencia de los mismos géneros fúngicos: *Penicillium* en el 41% de las muestras, *Aspergillus* en el 33% y *Fusarium* en el 21% (Oliveira *et al.*, 2006). Resultados similares fueron obtenidos por Rosa *et al.* (2006) en muestras tomadas de cuatro fábricas de alimentos balanceados en el mismo país. En el mismo año otros investigadores (Labuda *et al.*, 2006) encontraron como géneros fúngicos toxicogénicos predominantes en alimentos para aves a *Penicillium* (89%) y *Aspergillus* (70%). Respecto a las especies del género *Aspergillus*, numerosas especies potencialmente toxicogénicas se han informado como prevalentes en alimentos balanceados para pollos en Brasil y Argentina.

### **Las aflatoxinas**

Las AFs, fueron descubiertas en el año 1960 después de una intoxicación aguda en Inglaterra, conocida como enfermedad X de los pavos. En esta micotoxicosis murieron miles de pavos y de patos pequeños después de consumir harina de maíz proveniente de Brasil, contaminada con las AFs. El análisis químico realizado a la harina de maíz mostró la presencia de una serie de compuestos que presentaban fluorescencia bajo la luz ultravioleta (UV). La síntesis de estos compuestos se atribuyó a la especie contaminante de *A. flavus*, dando lugar al nombre de aflatoxinas (CAST, 2003). Estas cepas, son productoras de AFs del grupo B formado por AFB<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) y B<sub>2</sub> (AFB<sub>2</sub>).

Las aflatoxinas son micotoxinas producidas por los hongos del género *Aspergillus*, principalmente de *A. flavus* y de *A. parasiticus*, productoras de AFs del grupo B y G (AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub> y AFG<sub>2</sub>) ambas cepas son las de mayor incidencia en el maíz (Camiletti *et al.*, 2017). No todas las cepas son potencialmente toxicogénicas, siendo *A. parasiticus* más estable en la producción de estas toxinas que las de *A. flavus* (CAST, 2003). Estas sustancias son compuestos biológicamente activos, que se desarrollan en los productos agrícolas. Las micotoxinas son consideradas metabolitos secundarios ya que son el producto de procesos metabólicos primarios y no intervienen en el crecimiento del hongo. Cuando en un sustrato, como el maíz, crece el hongo, existe el riesgo de que haya una contaminación por las micotoxinas (CAST, 2003). Las micotoxinas pueden contaminar los productos agrícolas antes o

después de la cosecha. Algunas, como por ejemplo las AFs, pueden formarse en el campo, así como durante la cosecha, si las condiciones son propicias para el crecimiento de los hongos productores.

La distinción entre los tipos de AFs se da por la presencia de un doble enlace en su estructura química, que discrimina la AFB<sub>1</sub> y la AFG<sub>1</sub> de la AFB<sub>2</sub> y la AFG<sub>2</sub>. Esta pequeña variación en su composición interna se asocia a grandes cambios en su actividad biológica, dado que AFB<sub>1</sub> y AFG<sub>1</sub> son carcinogénicas y considerablemente más tóxicas que AFB<sub>2</sub> y AFG<sub>2</sub>. Cuando las AFs, se exponen a la luz UV, fluorescen de color azul (Blue) y de color verde (Green) según pertenezcan a los grupos (B) o (G) respectivamente, de allí su nombre (CAST, 2003).

Si bien la producción de las AFs es consecuencia de la interacción de la cepa del hongo con el sustrato y el ambiente, los factores que afectan la producción de las mismas son la temperatura, el contenido de humedad del sustrato y del ambiente, el pH, la luz, la aireación y los niveles de gases atmosféricos (CAST, 2003).

La temperatura para el desarrollo de la especie fúngica depende del tipo de sustrato considerado, en general sobre los sustratos naturales varía entre 25°C y los 28°C, no detectándose producción de toxinas por debajo de 8°C y por encima de 42°C. La temperatura óptima para el crecimiento de estos hongos se extiende desde 36°C a los 38°C (CAST, 2003).

El contenido de humedad del sustrato y la humedad relativa del ambiente son los parámetros críticos en la producción de las AFs, de hecho, en una investigación se determinó que la máxima producción sobre los granos de maíz fue con 25% de humedad y con 25°C de temperatura. La producción y la contaminación de las AFs ocurren en un rango de humedad del grano que varía entre un 15% y un 32 % (CAST, 2003).

Los granos de los cereales y de las oleaginosas son los mejores sustratos para el crecimiento fúngico y la producción de micotoxinas. Estos últimos son ricos en fuentes carbonadas, contienen glucosa, fructosa o sacarosa y en aminoácidos como la glicina y el ácido glutámico. También contienen minerales como el zinc y el manganeso, que son esenciales para la producción de AFs. La mezcla del hierro y del cadmio estimula su producción, mientras que el hierro por sí solo inhibe el crecimiento fúngico y la producción de toxinas (CAST, 2003).

### **Metabolismo o biodegradación**

Las AFs no actúan como tal una vez que ingresan a un organismo, sino que sufren una biotransformación hepática, la cual incluye varios procesos bioquímicos de transformación de la molécula original en metabolitos menos tóxicos e incluso algunos más tóxicos que la propia

toxina (CAST, 2003). Debido a la naturaleza lipofílica de estos compuestos, la absorción a través de las membranas del tracto gastrointestinal es el punto de entrada de las AFs en los seres humanos y en los animales. Desde el intestino, las toxinas entran al hígado a través del suministro de sangre portal, se metaboliza y parte de los metabolitos son eliminados por bilis y/o orina y otra parte se distribuyen a la mayoría de los tejidos blandos. No obstante, la mayoría de las toxinas se acumulan en el hígado y en los riñones donde se produce la biotransformación (CAST, 2003).

En los animales, la susceptibilidad a las AFs varía de acuerdo a la especie, la raza, la edad y el estado nutricional del animal considerado. Los más susceptibles son los pollos, los patos y los cerdos, mientras que las cabras, las ratas y los vacunos son relativamente resistentes. Dicha susceptibilidad se mide a través de la dosis letal media (DL50) que en los pollos es de 6 a 16 miligramo por kilogramo (mg/Kg) de peso corporal, ésta medida es una forma de determinar la gravedad del problema (CAST, 2003).

En aves los signos clínicos de intoxicación crónica son: malestar general, pérdida del apetito y del peso corporal; aunque estos signos clínicos no conducen a un diagnóstico específico. Las observaciones patológicas en casos de bajos niveles de intoxicación, revelan ictericia generalizada y cirrosis hepática con la proliferación celular de los conductos biliares y fibrosis periportal. En los casos de la intoxicación aguda, se manifiesta la ictericia de las membranas de las mucosas, hemorragias diseminadas y la acumulación de ácidos grasos en el hígado. La patología hepática es la principal característica en la mayoría de las especies estudiadas, asociada con un aumento en los niveles de fosfatasa alcalina sérica, lo cual constituye un indicador del mal funcionamiento hepático no asociado directamente con aflatoxicosis (CAST, 2003).

Los estudios realizados en los animales han demostrado que la AFB<sub>1</sub> es la más tóxica del grupo, seguida por la AFG<sub>1</sub>, la AFB<sub>2</sub> y la AFG<sub>2</sub>, afectando negativamente los parámetros productivos ocasionando una disminución del consumo de alimento, de la ganancia de peso y empeorando el índice de conversión (CAST, 2003).

Las AFs son compuestos muy estables en los alimentos, las reacciones que pueden sufrir estas toxinas dependen de la estructura química que poseen, son reactivos a un pH menor que 3 y mayor que 10. Esto deriva en que las AFs que son consumidas por los animales a través de alimentos contaminados, pueden encontrarse en los productos de origen animal, siguiendo la cadena alimenticia hacia el consumidor final que es el humano (CAST, 2003).





Figura 10: Efecto de Aflatoxina en el crecimiento de pollos parrilleros a los 42 días de edad. T1: control, T2: 3 ppm de AFLATOXINA (Mallman, 2004).

### **Impacto de las micotoxinas sobre los integrantes del sistema productivo que utilizan al maíz como materia prima**

Estas toxinas fúngicas tienen un impacto muy importante en la actualidad, siendo un problema que se distribuye a través varios actores relacionados dentro de una cadena productiva que tiene como factor común al maíz como materia prima, que incluye a los productores de granos, a la producción animal y a los distribuidores de los productos manufacturados. La disminución del rendimiento y del valor nutricional de los granos aumentan los costos de producción. Los productores avícolas resultan afectados debido a la disminución en la producción de carne y de huevos, el aumento en la incidencia de las enfermedades, los gastos en personal veterinario, los costos de descontaminación y las pérdidas de los mercados. En cuanto a los distribuidores, estos tienen un incremento en los costos del proceso, tales como el secado, la detoxificación y cuidados durante el almacenamiento. Las industrias sufren pérdidas de productos, aumentos en los costos de supervisión y en análisis de micotoxinas sobre la materia prima. En estos casos particulares es posible realizar un análisis de las pérdidas económicas producidas por la presencia de las micotoxinas en los productos, aunque los costos son imposibles de estimar cuando las micotoxicosis implican muertes humanas (CAST, 2003).

Las actividades humanas como la agricultura, desorganizan la vegetación y el suelo, causando la redistribución de los propágulos fúngicos que disponen de las fuentes nutritivas para el desarrollo de los hongos. Muchas especies fúngicas como, por ejemplo las del género *A.*, colonizan materiales producidos por el avance tecnológico, como es el caso de los maíces híbridos. Esto resulta de la asociación de las poblaciones de los hongos con diversas actividades relacionadas con la agricultura. Durante el desarrollo de los cultivos, los hongos colonizan los

diferentes sustratos e influncian en forma directa e indirecta a través de sus metabolitos la salud y la economía de la población animal y humana (CAST, 2003).

Los hongos han evolucionado para utilizar en forma eficiente los sustratos sólidos, creciendo y penetrando sobre su superficie. Estos organismos son capaces de secretar enzimas que transforman macromoléculas complejas en compuestos menores para luego utilizarlos en su crecimiento y metabolismo. Los hongos pueden absorber nutrientes de bajo peso molecular y en muchos casos también producir y secretar este tipo de compuestos; de esta forma en la naturaleza se presentan una gran variedad de estos compuestos con estructuras químicas complejas (CAST, 2003).

Existen diversos factores que determinan la variabilidad nutricional del maíz, causando pérdida de la calidad, que impactan directamente en forma negativa sobre la producción avícola, como se mencionó anteriormente. Uno de esos factores y de gran importancia en la actualidad es la contaminación con micotoxinas (CAST, 2003). Las micotoxinas son importantes en la producción avícola, ya que ocasiona pérdidas económicas de gran impacto debido a su actividad carcinogénica, inmunosupresora, neurotóxicas, efectos inhibitorios sobre el crecimiento, entre otros, de allí su importancia de estudiarlos (Oğuz *et al.*, 2000; Sur *et al.*, 2003).

El alimento contaminado por micotoxinas puede entrar a la cadena alimentaria a través de productos de origen animal como la carne o el huevo, produciendo una enfermedad en humanos denominada micotoxicosis secundaria, que de acuerdo a los síndromes que producen pueden ser crónicos o agudos (Oğuz, 2011; Zaki *et al.*, 2012). El impacto actual de las toxinas fúngicas en la salud humana y en la animal es muy importante y se estima que las mismas causan pérdidas económicas de millones de dólares en todo el mundo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que el 25% de la producción agrícola anual destinada a los alimentos es afectada por las micotoxinas. Estas toxinas pueden ser producidas en diferentes etapas, antes de la cosecha, es decir en el cultivo en pie o después de la cosecha, es decir en el almacenamiento, el transporte o en el procesamiento del grano. El tipo y cantidad de las micotoxinas producidas en la planta se ve totalmente influenciada por varios factores que afectan directamente al maíz, como la humedad ambiente, los nutrientes disponibles, la temperatura, los factores de estrés (sequias) y los daños físicos del sustrato causado por la actividad de los insectos o daño por granizo (CAST, 2003).

## Legislación actual existente

Desde el descubrimiento de las AFs en 1960 (Hesseltine *et al.*, 1966), se ha legislado la presencia de estas micotoxinas en los alimentos con el fin de proteger a los consumidores contra los efectos nocivos. El reconocimiento de que las AFs y otras micotoxinas pueden causar problemas de salud, ya sea en humanos o animales, ha llevado a establecer límites a su presencia en varios países del mundo. En muchos países de América del Sur la legislación aplicable a los alimentos para el consumo animal (materias primas y alimentos), se reduce a limitar la presencia de AFs en estos productos. La mayoría de estas normas establece que las materias primas que se utilicen directamente, o indirectamente como ingredientes, no han de exceder un nivel máximo de AFs de 50 µg/kg (microgramos por Kg de alimento). Algunos países siguen la normativa del MERCOSUR, mientras que otros añaden disposiciones adicionales (FAO, 2004).

Las especies de hongos más comunes en Europa pertenecen a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, por lo que las principales micotoxinas que preocupan son la AFB<sub>1</sub> (que se excreta como aflatoxina M1 (AFM<sub>1</sub>) en la leche, la OTA, la ZEA, las FBs, las toxinas T-2 (T2) y HT-2 (HT2), y el DON, todas ellas con una creciente influencia en la salud humana y animal. Estas micotoxinas han sido objeto de continuos estudios en Europa, pero su regulación en alimentos para animales, a excepción de la AFB<sub>1</sub>, está siendo aún armonizada para establecer los niveles permitidos.

Además de los aspectos económicos, políticos y comerciales, otros factores tienen un papel decisivo en el establecimiento de estos límites, incluyendo la capacidad científica de los estudios toxicológicos y epidemiológicos, el conocimiento sobre la presencia y distribución de las micotoxinas en los alimentos, e incluso la disponibilidad y validez de los métodos de análisis para su búsqueda.

Los límites máximos permisibles, especialmente para las AFs, han sufrido una gran evolución, disminuyendo en proporción directa a la mayor sensibilidad de los métodos de análisis y conocimiento de sus efectos en el organismo.

En cuanto a la alimentación animal, la Unión Europea, mediante la Directiva 2003/100 (U.E., 2003) estableció el límite máximo de AFB<sub>1</sub> en alimentos entre 5 y 20 µg/kg, dependiendo del tipo de producto y del animal destinado a ingerirlo. Por otra parte, la recomendación de la Comisión 576/2006/CE (U.E., 2006). La legislación europea tiene como objeto armonizar en todos los países de la comunidad los niveles de micotoxinas en los alimentos y que los mismos se comprometen a seguir estas normas. A nivel intercontinental se hacen esfuerzos, incluso a través de la FAO, para establecer directrices para la aplicación de los niveles de tolerancia y métodos de control de las micotoxinas.

En Argentina los niveles máximos de micotoxinas tolerados en los cereales y en los alimentos a base de maíz para el consumo animal son de: 5 a 20 µg/kg, considerado como dato de referencia para cualquier tipo de AFs (AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub>, AFG<sub>2</sub>) (CAST, 2003).

Actualmente, casi 100 países poseen regulación o propuestas sobre los límites de micotoxinas en sus alimentos para el consumo humano y el animal. Todos los países con reglamentaciones para las micotoxinas, en el año 2003 tenían, al menos límites reglamentados para la AFB<sub>1</sub> o para el total de las AFs (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub>) en los alimentos y/o las raciones. La ausencia de las regulaciones o de la información se da en algunos países de América Latina y una buena parte de los continentes africanos y asiáticos. La tendencia a un mayor control a nivel mundial es progresiva, cada vez existen más regulaciones para determinar la presencia de micotoxinas en productos alimenticios básicos, aunque los límites tolerables permanecen generalmente en los mismos valores o tienden a disminuir (CAST, 2003).

### **Las aflatoxinas en el maíz destinado al consumo animal**

La determinación de los niveles de la contaminación con las toxinas en el maíz y de los alimentos destinados al consumo animal es muy importante. La misma usualmente refleja la incidencia de la infección fúngica en los cultivos originales, la cual estaría influenciada por el origen de las semillas, la sequía y el daño eventual por los insectos. La incidencia y los niveles de las AFs varían de un área geográfica a otra y aún dentro de una misma región. En general el problema de la contaminación con las AFs parece circunscribirse a las áreas tropicales y subtropicales, debido a las preferencias de los hongos productores por la temperatura más elevadas (CAST, 2003).

La mayor parte de la contaminación del maíz con las AFs probablemente ocurra previa a la cosecha, aunque los insectos y el estrés hídrico son factores predisponentes. El hongo tiende a invadir y a concentrar su infección alrededor del germen del grano de maíz. En el proceso de molienda si se descarta el germen y el endosperma se logra una importante reducción en el contenido de las AFs presentes originalmente. En Argentina se han encontrado niveles de contaminación que varían entre 10 y 197 ng/g de grano (CAST, 2003).

Los granos de los cereales y sus productos derivados son la base de la alimentación humana y animal. El manejo inapropiado de los cultivos causa pérdidas significativas en la cantidad y la calidad de la materia prima. Muchas de las pérdidas son consecuencia de la invasión de los microorganismos, de los artrópodos y de ciertos vertebrados. El potencial destructivo de los mismos depende del ambiente en el cual viven y se multiplican y de su mecanismo fisiológico para interactuar con las variables bióticas y abióticas (CAST, 2003).

El manejo integral de los alimentos destinados al consumo animal depende de la escala de producción y de comercialización, e implica el manejo apropiado de diferentes ecosistemas complejos; dentro de ellos, el ecosistema del grano a campo que tiende a aumentar la producción de los productos de alta calidad (CAST, 2003).

En los países en desarrollo, como Argentina, los factores ambientales ocasionan las condiciones desfavorables, que permiten un nivel alto de actividad biológica con las consecuentes pérdidas en la calidad y en la cantidad de los granos. En estos países, la producción está regulada principalmente por la demanda de los granos como materia prima en la elaboración de los alimentos destinados al consumo humano y al animal. Las condiciones climáticas tropicales y subtropicales favorecen la multiplicación de las especies fúngicas y de los insectos (CAST, 2003).

La mayoría de los cereales tienen una relación carbono/nitrógeno dentro del rango óptimo para la actividad microbiana. Por esta razón, cuando las condiciones de la temperatura y de la humedad son adecuadas, la microflora puede llevar a cabo la descomposición de los granos. Este proceso consiste en una transformación gradual de la materia orgánica del germen del grano, de los hidratos de carbono del endosperma y demás materiales asociados, como los ácidos grasos libres y los numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos. Este proceso transforma al grano en un producto nutricionalmente más pobre, que en general se destina a la elaboración de alimentos para los animales (CAST, 2003).

El manejo del ecosistema en los países en desarrollo es considerablemente más difícil que en los países desarrollados; las condiciones climáticas son distintas, favoreciendo el crecimiento y la multiplicación de los hongos, sumado a las deficiencias en la situación económica de los productores y a la falta de conocimiento de las prácticas adecuadas que entorpecen el manejo apropiado de los cultivos (CAST, 2003).

## **INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LAS AFLATOXINAS**

### **Importancia del cambio climático**

Cambio climático es la modificación en la distribución estadística de los patrones meteorológicos durante un periodo prolongado de tiempo (décadas a millones de años). Puede referirse a un cambio en las condiciones promedio del tiempo o a la variación temporal meteorológica de las condiciones promedio a largo plazo (por ejemplo, fenómenos meteorológicos extremos). Dicho cambio está causado por diversos factores como los procesos

bióticos, las variaciones de la radiación solar recibida por la tierra, el movimiento de placas tectónicas, las erupciones volcánicas y la causa más reciente, considerada como principal, es el calentamiento global, generado por el desarrollo de ciertas actividades humanas (Sant'Ana, 2010). Para asegurar el futuro de la seguridad alimentaria de la humanidad, es crucial entender como el cambio climático afecta la agricultura. Un área clave de interés es cómo los factores climáticos podrían afectar la infección fúngica de los cultivos y la producción de las micotoxinas (Wu, *et al.*, 2011). El cambio climático no es algo reciente, los patrones climáticos sugieren variaciones en los valores normales de algunas variables, como la temperatura media mundial. Esta variable ha aumentado desde 1901, registrándose temperaturas más cálidas, lo que conduce a una mayor producción de las micotoxinas por parte de los hongos (Wu, *et al.*, 2011). El cambio climático influye sobre la agricultura y consecuentemente sobre los hongos productores de micotoxinas, al modificar los valores normales de algunas variables climáticas, como la temperatura y la humedad relativa, en la que los hongos prosperan y causan graves daños. También, el cambio climático puede alterar los ciclos de vida y la distribución geográfica de los insectos, los cuales facilitan la infección de hongos en los cultivos. Los hongos más comunes capaces de infectar el maíz cuando las temperaturas son más cálidas, son aquellos relacionados con los géneros productores de AFs y Fumonisinias. También se debe considerar que las temperaturas cálidas combinadas con precipitaciones abundantes o sequías extremas aumentan el estrés de la planta, lo que predispone a la infección de hongos y a la contaminación por las micotoxinas en el maíz.

Aunque la producción de los alimentos podría aumentar al incrementarse la temperatura, habría problemas potenciales asociado con el momento de la siembra y de la cosecha de los cultivos debido al cambio en el patrón del clima, como así también, un posible aumento de los fenómenos meteorológicos extremos que fomentan la presencia de las plagas y de las enfermedades de las plantas. Aparte de la cantidad, la calidad de los alimentos también sería afectada por el cambio climático, mediante el aumento de los microorganismos contaminantes que afecten su inocuidad, mencionando dentro de estos un incremento en la incidencia de las micotoxinas (Wu, *et al.*, 2011).

Este problema ha ido en aumento a nivel mundial, representando pérdidas económicas de hasta el 9,4 % anual. Nuestro país produce el 20% del maíz mundial; algunos autores reportan que el 87,09 % de los granos de maíz de origen argentino están contaminados con especies fúngicas del genero *Aspergillus* (González *et al.*, 2004).

## **Efecto del cambio climático sobre la modificación de las variables climáticas y su relación con la contaminación de las aflatoxinas**

Si las temperaturas superficiales de la tierra continúan con la tendencia a aumentar y los otros patrones climáticos asociados a ella se modifican, se genera una alteración en la producción de las micotoxinas, lo cual constituye un riesgo para los agricultores. En el primer caso, la temperatura y las precipitaciones pueden favorecer o desalentar el crecimiento de los hongos micotoxigénicos y la contaminación por las micotoxinas de los productos agrícolas. En el segundo caso, las tendencias climáticas pueden suponer impactos en la distribución de los hongos, en las micotoxinas y en las plantas de los cultivos (Tirado *et al.*, 2010).

La agricultura es afectada con gran impacto por los factores climáticos que pueden cambiar significativamente en un futuro próximo, como la temperatura, las precipitaciones y el nivel de dióxido de carbono atmosférico. Los establecimientos agrícolas podrían verse afectados ya que indirectamente influyen sobre la calidad del suelo, los rendimientos de los cultivos y el medio ambiente biológico, dentro del cual se modifica la abundancia de las plagas y de los patógenos de las plantas. Las micotoxinas son algunos de los riesgos transmitidos por los alimentos, que dependen de las condiciones climáticas. Además, el exceso o déficit extremo de precipitaciones favorecerían la formación de las mismas. Algunos autores piensan que los perfiles de crecimiento, la temperatura óptima y la actividad del agua para diferentes especies de hongos, varían según la toxina producida. Cabe señalar que estas condiciones de crecimiento y la producción de las micotoxinas pueden variar dependiendo del cultivo infectado y que otros factores, tales como los ciclos de la temperatura, pueden tener diferentes efectos sobre el crecimiento o la cantidad de toxina producida (Wu, *et al.*, 2011).

Los principales factores que contribuyen a altas concentraciones de AFs son las temperaturas elevadas y la sequía. Estos dos factores ambientales afectan directamente al maíz y al hongo (*A. flavus*). Las altas temperaturas y las condiciones secas favorecen el crecimiento fúngico, la producción de conidios y la dispersión de *A. flavus*, además de afectar el crecimiento y/o el desarrollo del maíz. Estudios llevados a cabo por Wu, *et al.*, 2011, en un ambiente controlado demostraron que las altas temperaturas favorecen la infección del maíz con *A. flavus* y contribuyen a concentraciones altas de AFs; también se demostró que la temperatura elevada del suelo y el estrés por la sequía son los parámetros ambientales claves con una correlación positiva con la contaminación por AFs y un aumento de la incidencia de las cepas o las especies aflatoxigénicas.

Tras varias investigaciones, se ha encontrado que las precipitaciones tiene una correlación positiva con la riqueza de especies del genero *Aspergillus*; la sección *flavi* se adapta más a suelos

con poca concentración de humedad, mientras que la sección *parasiticus* es abundante en suelos con alta humedad (Wu, *et al.*, 2011).

El cambio climático puede influir en la infección de los hongos toxigénicos, en su crecimiento y en la producción de micotoxinas sobre los cultivos; éstas al ser consumidas, causan problemas en la sanidad de los animales y de allí siguen en la cadena alimentaria hacia el consumidor final que son los seres humanos (Wu, *et al.*, 2011).

La frecuencia y la concentración de las micotoxinas resultan de la interacción del hongo con el grano de la planta. La performance de cada planta es afectada por la condición de la otra y también por las condiciones del clima y del suelo. Otros efectos indirectos asociados al cambio climático son expresados a través de otros componentes biológicos del sistema como las plagas, los organismos habitantes del suelo y los del espacio interior de la planta (Tirado *et al.*, 2010).

Un cambio ambiental particular no influye en todas las especies de hongos micotoxigénicos de la misma manera. Hay condiciones físicas bajo las cuales un hongo particular se desarrollará mejor que otro (Tirado *et al.*, 2010).

Además de la temperatura, se conoce que otros componentes temporales como la humedad y las precipitaciones tienen un efecto en la interacción de los hongos toxicogénicos con la planta huésped y con la totalidad de la comunidad biológica de los ecosistemas de la agricultura (Tirado *et al.*, 2010).

Las condiciones adversas para la planta como el estrés hídrico y/o térmico, la fitotoxicidad de pesticidas, la falta de fertilizantes, entre otros, fomenta el desarrollo fúngicos que bajo ciertas condiciones favorables podrían generar una mayor producción de las micotoxinas. Las condiciones húmedas favorecen el desarrollo de los hongos en la planta, esto puede ser solucionado con una planta en buen estado de desarrollo. Cambios en el rango geográfico originarían la oportunidad de que nuevas asociaciones de hongos surgieran y tal vez otras micotoxinas comunes no consideradas surjan como un peligro a la salud pública, como las producidas por la especie del género *Penicillium* (Tirado *et al.*, 2010).

La contaminación con AFs en las especies de plantas susceptibles de algunas regiones de clima cálido y húmedo del Sur-Oeste de América ha hecho inviable que dichos cultivos crezcan en esa región (CAST, 2003).

Además de todo lo descrito hasta ahora, parece haber una correlación positiva entre el nivel de toxinas del cultivo con el daño o el estrés en las plantas. En el maíz, el ataque de la oruga de la espiga (*Helicoverpa zea*) y presencia eventual de una sequía, contribuyen estimulando la acumulación de AFs. Se ha sugerido que el aumento de la temperatura es generado por el cambio climático, ocasionando un aumento en el número de plagas de insectos y



su alcance geográfico; por ende la presencia de micotoxinas podría estar relacionada a un aumento en la actividad de las plagas de insectos, lo que predeciría una correlación entre daño y contaminación (Tirado *et al.*, 2010).

### **Otros componentes del sistema agrícola que favorecen la infección de los hongos**

Además del clima, existen otros factores como las plagas y las condiciones alrededor de la cosecha, que influyen en forma potencial e indirecta sobre la colonización fúngica y la producción de micotoxinas (Tirado *et al.*, 2010).

#### **Plagas**

Las plagas pueden favorecer la colonización de los hongos toxicogénicos y la contaminación de las micotoxinas en los granos. Los insectos lesionan los tejidos al alimentarse de los cultivos, lo que facilitan el establecimiento de los mismos (Tirado *et al.*, 2010).

Con el aumento de las temperaturas a causa del cambio climático es probable que se exacerben los problemas asociados con las interacciones de los insectos, las plantas y los hongos; potencialmente se podrían crear nuevos problemas relacionados a los insectos, alterando la tasas de crecimiento demográfico de la población, el aumento del número de insectos, la alteración de la sincronía de las plagas y los rangos geográficos de las especies (Wu, *et al.*, 2011).

Debido a que los insectos son ectodermos, o sea dependientes de la temperatura externa, un aumento en esta variable ambiental influye directamente en su tasa metabólica, en su desarrollo y en su patrón de actividad. Todos estos factores podrían conducir a un mayor número de insectos y como consecuencia a un aumento de las lesiones de los cultivos, causando una mayor incidencia de la contaminación fúngica y por lo tanto los niveles de las micotoxinas aumentarían (Wu, *et al.*, 2011).

Como se mencionó anteriormente al describir los distintos tipos de maíces, algunos de los problemas potenciales asociados con insectos y el cambio climático podrían ser atenuados con ingeniería genética en los cultivos. Por ejemplo, el híbridos que expresa el gen Bt han reducido los daños por insectos y los niveles de micotoxinas (Thomson, 2008).

#### **Condiciones predominantes alrededor de la cosecha**

Si el cambio climático altera la naturaleza o el grado de variación de las condiciones en el período de cosecha/post cosecha, se altera la estabilidad del grano entre la cosecha y la comercialización del producto (Wu, *et al.*, 2011).

En la cosecha se deben tomar las medidas de prevención para evitar el ingreso del hongo a la planta, como por ejemplo, no demorar el momento óptimo de la cosecha, evitar los daños físicos como la caída eventual de granizo o los biológicos por la presencia de insectos que afecten a la planta, entre otras (Wu, *et al.*, 2011).

Con respecto al manejo post cosecha, el mismo se inicia con las medidas básicas de limpieza del lugar de almacenamiento del grano, el que puede ser conducido conjuntamente con la cosecha; se debe controlar principalmente la acumulación de humedad en el recinto, para evitar el crecimiento fúngico (Wu, *et al.*, 2011).

En el caso que el problema fúngico sea detectado en el almacenamiento del grano, existen medidas agroindustriales para la disminución de las micotoxinas en las dietas destinada a la alimentación animal, evitando consecuencias a posteriori. Dentro de estas medidas es común que se adicione la Bentonita Sódica, sustancia de origen natural del grupo de las arcillas, usada para secuestrar las micotoxinas presentes en la materia prima. La misma actúa adsorbiendo la toxina en el tracto gastrointestinal formando un compuesto inerte el cual es eliminado por las heces, evitando la adsorción intestinal de la toxina y disminuye las pérdidas económicas que esto trae aparejado (Wu, *et al.*, 2011).

## **MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL A CAMPO PARA REDUCIR LOS RIESGOS DE LA CONTAMINACIÓN POR LAS AFLATOXINAS**

### **Buenas Prácticas Agrícolas**

Si bien en estos últimos años la producción de micotoxinas estaba íntimamente relacionada como un problema que surge en el almacenamiento de los cereales, ahora está claro que casi todos, si no todos los problemas de las micotoxinas se producen en el proceso de la cosecha como resultado de la interacción de diferentes factores. La contaminación con estas toxinas puede generarse en pre o post cosecha (Tirado *et al.*, 2010). Es por ello que una de las formas de prevención y control de las micotoxinas, tal vez la más importante, es la utilización de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).

Las BPA se refieren a las prácticas de manejo recomendadas para la producción vegetal desde la actividad primaria hasta el transporte y el empaque. Estas prácticas tienden a asegurar la inocuidad y alcanzar una determinada calidad del producto, para que no pierda su valor nutricional y no repercuta en la producción (Bentivegna *et al.*, 2005).

La contaminación del maíz con micotoxinas es un problema complejo y está influenciado por diversos elementos. Además de las altas temperaturas, el estrés hídrico y los insectos, juegan

un rol importante en la contaminación con AFs, otros componentes agronómicos relacionados con el manejo del cultivo. La estrategia general consiste en modificar el ambiente donde vive el hongo tornándolo desfavorable para su reproducción y/o su supervivencia.

Las Buenas Prácticas Agrícolas empleadas tendientes a prevenir y/o controlar las AFs en el maíz se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3: Buenas Prácticas Agrícolas

<b>BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA)</b>	
Rotación del cultivo	Riego
Sistema de labranza	Fertilización
Elección del híbrido	Control de las malezas
Fecha de siembra	Control de plagas

(Wu, *et al.*, 2011).

### **Rotación del cultivo**

La rotación de los cultivos es una alternativa de prevención-control de bajo costo y fácil de aplicar por los agricultores y juega un rol importante al reducir la fuente de inóculo de los hongos, al interrumpir el ciclo de la enfermedad de una campaña a otra. Se aconseja siempre una alternancia de los cultivos, rotaciones de cereales con oleaginosas u otras alternativas. En varios estudios, se ha demostrado que la rotación maíz-soja reduce la presencia del inóculo inicial a campo de la especie *A. flavus* y la incidencia de su enfermedad. Esta técnica es una medida efectiva a largo plazo, usada habitualmente para controlar los inóculos fúngicos presentes en el rastrojo; ya que el mismo contiene materia orgánica y humedad, proporcionando condiciones óptimas para el crecimiento de los hongos y la producción de las toxinas asociadas (Battilani *et al.*, 2012).

También la composición del suelo y las condiciones climáticas pueden influir en la cantidad del inóculo fúngico y en la concentración de las toxinas asociadas. Estos aspectos se deben tener en cuenta con el fin de definir el nivel de riesgo de la contaminación en los granos, considerando que tanto la composición del suelo como las condiciones climáticas no pueden ser modificadas (Battilani *et al.*, 2012).

### **Sistemas de labranza**

La labranza es considerada una buena práctica para reducir el inóculo fúngico en el suelo.

Hay diferentes sistemas de labranza: convencional (con remoción del suelo), labranza vertical (remoción mínima) y labranza cero (sin remoción). De acuerdo al sistema de labranza utilizado se disminuye con mayor o menor intensidad el rastrojo presente en el suelo, donde los hongos pueden sobrevivir y producir sus esporas con facilidad. La utilización de algunos de estos sistema produce una alteración en la presencia de esporas en la capa superior del suelo dificultando el desarrollo fúngico al alterar las condiciones ecológicas necesarias para esporular y contaminar las plantas de maíz (Battilani *et al.*, 2012).

### **Elección del híbrido**

La elección del híbrido de maíz es una de las opciones para disminuir el efecto negativo causado por las AFs. Como se menciona anteriormente, no existe aún un cultivar que permitan un control directo del problema, puede elegirse por ejemplo un maíz Bt , que posee una bacteria que controla biológicamente al barrenador del maíz (*Diatraea saccharalis*), al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y a la oruga de la espiga (*Helicoverpa zea*). Estas larvas de mariposa (Lepidópteras) atacan perforando las hojas, los tallos y las espigas del maíz, causando galerías que facilitan la infección de los hongos entre ellos *Aspergillus*. Dicho método podría ser válido para reducir los daños ocasionados por los insectos y en forma indirecta disminuiría la infección del hongo siendo un método natural (Battilani *et al.*, 2012).

Los híbridos específicos para el control directo del hongo aún están en estudio, con lo cual no están disponibles en el mercado; la selección de los híbridos menos susceptibles a ataques de hongos como *A. parasiticus* y *A. flavus* están aún estudiándose. Sin embargo, la resistencia estructural a la infección del grano ha sido el control más considerado hasta ahora (Battilani *et al.*, 2012)

### **Fecha de la siembra**

La temperatura es probablemente el factor ambiental más importante que influye en la infección por *A. flavus* antes de la cosecha del maíz y la eventual contaminación de los cultivos por AFs. Cuando las temperaturas aumentan, la contaminación de AFs también lo hace; por supuesto, nada se puede hacer para controlar la temperatura ambiental, pero es posible evitar su impacto durante las últimas etapas de formación del grano seleccionando una fecha de siembra adecuada. La época de la siembra, como se dijo anteriormente, es importante y determina la probabilidad de la infección, por lo que un cambio en la fecha de siembra puede afectar significativamente la acumulación de las micotoxinas. En el maíz, la fecha de siembra temprana en nuestra región es a mediados de septiembre, esto generalmente resultan en un menor riesgo de

contraer una infección fúngica, sin embargo, las diferencias anuales en las condiciones meteorológicas pueden limitar esta ventaja (Battilani *et al.*, 2012).

La siembra temprana podría servir para reducir el riesgo de contaminación con las micotoxinas, ya que los datos publicados sobre el maíz de acuerdo a las distintas épocas de siembra son muy variables pero están fuertemente influenciados por dicho parámetro y por las condiciones de cultivo (Battilani *et al.*, 2012).

### **Riego**

Las altas temperaturas y la sequía favorecen el crecimiento de *A. flavus* y la producción de las AFs. El estrés por la sequía puede ocurrir en el maíz con bastante rapidez si se expone a una combinación de altas temperaturas ambientales y de baja humedad relativa. Cuando se cuenta con la opción de regar el maíz, la sequía se reduce y los niveles de las AFs son más bajos. También es importante recordar que el riego mejora el valor biológico de la proteína del maíz y reduce la susceptibilidad, siendo ésta una forma indirecta para controlar el hongo y la contaminación de AFs. Esta práctica juega un papel importante en el control de las AFs en el maíz. Dependiendo de la zona geográfica, no siempre es aplicable, ya sea por la falta de disponibilidad de agua o por los costos excesivos del método. En el caso de no contar con riego, se sugiere reducir el impacto de la falta de agua en el suelo, eligiendo fechas de siembra temprana e híbridos capaces de resistir mejor al estrés por sequía. Respecto al riego, los datos cuantitativos sobre su efecto aún son difíciles de obtener debido a la cantidad de factores que intervienen, como el tipo y el momento de riego, el volumen de agua distribuida, el déficit de agua en las plantas y su interacción con las condiciones climáticas (Battilani *et al.*, 2012).

### **Fertilización**

Una adecuada fertilización es crucial para evitar el estrés vegetal, ya que la deficiencia o el exceso de los nutrientes afectan la producción de las AFs. La nutrición adecuada de la planta, y en particular los niveles de nitrógeno, es necesaria para evitar la contaminación de las AFs en el grano de maíz antes de la cosecha. El nitrógeno (N) es el compuesto más relevante e importante para el metabolismo y el vigor de la planta; también forma parte de las proteínas estructurales, las metabólicas y de los ácidos nucleicos. Una subestimada fertilización conjuntamente con una sequía es capaz de alterar la absorción y translocación del N en el maíz, causando una deficiencia de este componente durante el desarrollo del grano. De esta manera, el estrés de la planta resulta de las bajas tasas de N, lo que estimula un incremento en las concentraciones de AFs en el maíz. En particular, los niveles insuficientes de N mineralizados en

la zona de las raíces pueden deberse a estrés por sequía o exceso de lluvia y, una vez más, predisponen al maíz a la contaminación de AFs. Además del N se debe considerar otros nutrientes como el fósforo, el potasio y el calcio que también contribuyen a dicho efecto (Battilani *et al.*, 2012).

También una fertilización no equilibrada puede modificar el desarrollo de la planta y causar un estrés en la misma; por eso se aconseja una fertilización balanceada, que es parte de las BPA, siendo este aspecto obligatorio para los agricultores, independientemente del riesgo de las AFs en el área de cultivo de maíz (Battilani *et al.*, 2012).

### **Control de malezas**

Durante el desarrollo del ciclo del maíz se pueden presentar gran cantidad de malezas, las cuales pueden causar reducciones en el rendimiento y en la calidad del grano. Similares a los efectos de una sequía, la presencia de las malezas puede causar indirectamente una mayor incidencia de *A. flavus* y consecuentemente aumentar las AFs en los granos. Esto se debe a que las malezas pueden inducir estrés a las plantas de maíz al competir por el agua, por los nutrientes y por la luz solar, causando efectos perjudiciales sobre el rendimiento. Por otra parte, ciertas especies de malezas son también capaces de exudar sustancias químicas de sus raíces, que inhiben el desarrollo del cultivo, proceso conocido como alelopatía, que también conduce a un estrés y por consiguiente, a una mayor susceptibilidad a la colonización de *A. flavus* (Battilani *et al.*, 2012).

### **Control de plagas**

Uno de los factores reconocidos que contribuye a la contaminación fúngica en el maíz antes de la cosecha es el daño por los insectos. Estos actúan como vectores, lo que facilita la entrada de esporas y el aumento de la infección sobre el grano. En particular, una combinación de prácticas (siembra temprana, baja densidad de plantas, riego), junto con una adecuada elección del híbrido y el control de insectos, podría llevar a reducir las concentraciones de micotoxinas a campo (Battilani *et al.*, 2012).

Hay que considerar que los tratamientos químicos de insectos son generalmente costosos y si estos son tardíos, en los campos ya infestados, serán ineficaces ya que cuando la oruga de la espiga (*Helicoverpa zea*) entra en el interior de la mazorca el tratamiento no será efectivo. Lo ideal entonces es usar los híbridos Bt para aminorar la presencia de las larvas de la oruga y por lo consiguiente disminuir el nivel de AFs; de esta forma una menor presencia de AFs en las planta resultarán en una menor concentración posterior en el grano (Battilani *et al.*, 2012). Se ha

comprobado que los daños causados por los insectos favorecen la infección de *A. flavi*, no sólo por romper el grano y dejar la superficie expuesta para el ataque del hongo, sino también a través del movimiento de los mismos, donde su cuerpo pueden funcionar como vectores del inóculo fúngico. Para realizar un buen manejo de los lotes de maíz se tiene que considerar el control de las plagas (Battilani *et al.*, 2012).

## CONCLUSION

El efecto del cambio climático modifica las variables climáticas, el aumento del nivel poblacional de algunas plagas, el crecimiento fúngico y la producción de micotoxinas sobre los cultivos.

El maíz es uno de los principales componentes de las dietas destinadas al consumo animal en nuestro país, constituyendo la principal fuente de energía de las dietas de las aves, sobre todo en sistemas intensivos de crianza como es el caso de la producción avícola. Para un buen rendimiento (ó aprovechamiento) es importante que el grano sea de buena calidad, con niveles bajos o aceptados de contaminantes, como es el caso de las AFs, ya que niveles elevados afectan la producción animal y subsecuentemente la salud humana.

La presencia de las micotoxinas sobre los granos de maíz está influenciada por dos variables climáticas claves: la temperatura y la humedad ambiente, ambas modificadas por el cambio climático. Además todo estrés o daño que sufra el cultivo favorece la infección fúngica. El consumo de granos de maíz contaminados llevaría a problemas agudos o crónicos tanto en la sanidad animal, en los parámetros productivos, como en la salud humana, de allí su importancia de estudiarlas y difundir sus formas de prevención-control a través de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).

En la actualidad existen medidas de prevención y control a campo, para anticipar y sanear este problema, evitando consecuencias negativas en la producción animal. Dentro de las mismas podemos nombrar: la rotación del cultivo, los sistemas de labranza, la elección del híbrido, la fecha de siembra, las practicas asociadas al riego, la fertilización, el control de malezas y de las plagas, que de manera conjunta forman parte de las BPA necesarias para llevar adelante el manejo de un cultivo y a su vez evitar la contaminación fúngica y la producción de micotoxinas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BATTILANI, P. V. ROSSI, P. GIORNI, P. A. PIETRI, A. GUALLA, H.J. VAN DER FELSKLERX, C.J.H BOOIJ, A. MORETTI, A. LOGRIECO, F. MIGLIETTA, P. TOSCANO, M. MIRAGLIA, B. DE SANTIS, C. BRERA. 2012. Scientific report submitted to EFSA Modelling, predicting and mapping the emergence of aflatoxins in cereals in the EU due to climate change Question No EFSA-Q-2009-00812.
- BENNETT, J.W. y M. KLICH. 2003. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*. 16:497–516.
- BENTIVEGNA, M., P. FELDMAN, R. KAPLAN. 2005. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). En:[http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/144370/mod\\_page/content/4/BPA\\_Fruti\\_Horticola\\_boletin.pdf](http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/144370/mod_page/content/4/BPA_Fruti_Horticola_boletin.pdf). Pág. 1-13. Consultado: 14-05-2016.
- BONILLA MORALES, N. 2009. Manual de recomendaciones técnicas Cultivo del maíz (*Zea mays*). INTA San José de Costa Rica. ISBN 978-9968-586-00-9, 72. Pág.1-68.
- BOLETIN AGRARIO, 2016. Exigencias de suelo y de clima para el cultivo de maíz. En: <https://boletinagrario.com/f782,exigencias-suelo-clima-para-cultivo-maiz.html>. Consultado: 02-08-2016.
- BOTTA, G. y M. GONZALEZ. 2015. Enfermedades fúngicas y abióticas del maíz. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0– Pág. 125-151.
- BRAGACHINI, M. 2010. Maíz cadena de valor agregado. "Alternativas de transformación e industrialización" PRECOP II, INTA. En: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustrializacion/MaizCadenaValorAgregado.asp>. Consultado: 05-09-2016.
- CAMILETTI B.X; M. FERRER LANFRANCHI, C.E. MAGNOLI, E. LUCINI, M.P. GIMÉNEZ PECCI. 2014. Estudio de la incidencia de *Aspergillus spp.* y *Penicillium spp.* En espigas de maíz y su control mediante la aplicación de aceite esencial de laurel. Rosario Congreso X Congreso Nacional de Maíz.
- CAMILETTI, B.X., K. TORRICO, M. FERNANDA, D. CRISTOS, C.E. MAGNOLI, I. ENRIQUE, L. MARÍA DE LA PAZ GIMÉNEZ PECCI. 2017. Fungal screening and aflatoxin production by *Aspergillus* section *Flavi* isolated from pre-harvest maize ears grown in two Argentine regions. **Crop Protection** Volume 92, Pages 41-48.
- CAST (Council of Agricultural Science and Technology). 2003. Mycotoxins: Risks in plant, animal, and human systems. J. L. Richard and G. A. Payne, ed. Council for Agric. Sci. Tech. Task Force Report no. 139, Ames, IA.

- CIRILO, A. F. ANDRADE, M. OTEGUI, G. MADDONNI, C. VEGA, O. VALENTINUZZI. 2015. Ecofisiología del cultivo del maíz. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0 – Pág. 25-56.
- CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 2017. Doctor maíz. Pudrición de la mazorca por *Aspergillus*. En: [http:// http:maizedoctor.org/es/pudricion-de-mazorca-por-aspergillus](http://http:maizedoctor.org/es/pudricion-de-mazorca-por-aspergillus) . Consultado: 5-10-2017.
- COURETOT, L. 2016. Enfermedades del maíz en las últimas cinco campañas. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0 – Pág. 46-50.
- DALCERO, A.; C.E. MAGNOLI, S. CHIACCHIERA, G. PALACIOS, y M.M. REYNOSO. 1997. Mycoflora and incidence of aflatoxin B1, zearalenone and deoxynivalenol in poultry feeds in Argentina. **Mycopathologia** 137:179-184.
- DALCERO, A., MAGNOLI, C., LUNA, M., ANCASI, G., REYNOSO, M., CHIACCHIERA, S.M., MIAZZO, R. y PALACIO, G. 1998. Mycoflora and naturally occurring mycotoxins in poultry feeds in Argentina. **Mycopathologia** 141: 37-40.
- EYHERABIDE, G. 2015. Mejoramiento genético del maíz. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0 – Pág 57-78.
- FAO. 2004. Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. FAO Food and Nutrition paper 81, Rome. En: <http://www.fao.org/docrep/007/y5499e/y5499e00.htm> Consultado: 8 Noviembre 2010.
- FERRER, M. 2015. Los recursos genéticos del maíz. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0 – Pág 107-125.
- FLORES, H. 2011. Guía técnica: el cultivo del maíz. IICA. En: [repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf](http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf). Consultado: 06-10-2017.
- FUNES, E. 2015. Diario Clarín. Radiografía a fondo del consumo de maíz en la Argentina. En [https://www.clarin.com/agricultura/maiz-consumo\\_interno-grano-bioetanol-forraje\\_0\\_r1XVYE9PXl.html](https://www.clarin.com/agricultura/maiz-consumo_interno-grano-bioetanol-forraje_0_r1XVYE9PXl.html) consultado 11-10-2017.
- GHIDA DAZA, C. 2016. Resultados económicos de maíz. Campaña 2016/17. En Maíz Actualización 2016 Informe de Actualización Técnica en línea N° 5. INTA Marco Juárez. ISSN 2469-2040. Pág 53-62.
- GIBERT, P.M. 2011. Pollos parrilleros. La cría de pollos parrilleros es una alternativa de consumo de proteína animal a bajo costo. <http://www.abc.com.py/articulos/pollos-parrilleros-290980.html>

- GILETTA, M. 2016. Panorama económico y perspectivas para el maíz 2016/2017. En Maíz Actualización 2016 Informe de Actualización Técnica en línea N° 5. INTA Marco Juárez. ISSN 2469-2040. Pág 20-26.
- GONZALEZ, M., M. INCREMONA, A. GHIO, G. BOTTA. 2004. Patógenos fúngicos prevalentes en granos de maíz en la zona maicera núcleo Argentina. En: <http://www.rehip.unr.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/2133/833/Patogenos%20fungicos%20prevalentes%20en%20granos%20de%20maiz%20en%20la%20zona%20maicera%20nucleo%20a%20argentina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado: 25-04-2017.
- HESSELTINE, C.W., O.L. SHOTWELL, J.J. ELLIS y R.D. STUBBLEFIELD. 1966. Aflatoxin formation by *Aspergillus flavus*. **Bacteriol. Rev.** 30: 795-805.
- INFOBAE ECONOMIA, 2017. Argentina producirá casi tanto maíz como soja para la próxima campaña agrícola. En: <http://www.infobae.com/economia/2016/06/17/argentina-producira-casi-tanto-maiz-como-soja-en-la-proxima-campana-agricola/>. Consultado: 20-03-2017.
- INTA, 2013. Agrositio. Evaluación de híbridos de maíz flint y dent como grano entero en la alimentación de novillos en un engorde a corral.
- LABUDA, R. y D. TANCINOVA. 2006. Fungi recovered from Slovakian poultry feed mixtures and their toxinogenity. **Ann. Agric. Environ. Med. J.** 13: 193-200.
- MAGNOLI, C. S. CHIACCHIERA, R.D. MIAZZO, G. PALACIO, A. ANGELETTI, C. HALLAK, y A.M. DALCERO. 2002. The mycoflora and toxicity of feedstuffs from a production plant in Córdoba, Argentina. **Mycotoxin Res.** 18: 7-22.
- MAGNOLI, C. C. HALLAK, A. ASTORECA, L. PONSONE, S.M. CHIACCHIERA, G. PALACIO, y A.M. DALCERO. 2005. Surveillance of toxigenic fungi and ochratoxin A in feedstuffs from Córdoba Province, Argentina. **Vet. Res. Comm.** 29: 431-445.
- MALLMAN, C. 2004. Agrabond (afl) - prueba de adsorción in vivo. En: [http://www.agranco.com/s\\_agrabond\\_afl\\_prueba\\_invivo\\_espanol.htm](http://www.agranco.com/s_agrabond_afl_prueba_invivo_espanol.htm). Consultado: 27-10-2017.
- MARCIAL, C.G. 2014. Actualidad avipecuaria. Manejo de Gallinas Ponedoras (Parte I). En: <http://www.actualidadavipecuaria.com/articulos/manejo-de-gallinas-ponedoras-parte-I.html>
- MARIN GOMEZ, L. 2008. Tesina: "Evaluación agronómica de variedades comerciales de maíz (*Zea mays*, L.) en relación a sus ciclos de maduración". Zaragoza, España. En: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/116042/1/MarinL\\_PFC\\_2008.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/116042/1/MarinL_PFC_2008.pdf). Consultado: 01-10-2017.
- MATERIA PRIMA AGROINDUSTRIAL CURSO 2011. Licenciatura en Tecnología de los Alimentos. FCV, UNCPBA. MATERIA PRIMA DE ORIGEN VEGETAL CEREALES. En:

- <http://www.vet.unicen.edu.ar/.../MateriaPrima/images/.../2011/CEREALES%20%202011.pp.C>  
onsultado: 10-10-2017
- MUÑOZ, R. 2015. Mercado mundial y argentino de maíz. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0 – Pág 251-297.
- OĞUZ, H. V. KURTOGLU, B. COSKUN. 2000. Preventive efficacy of clinoptilolite in broiler during chronic aflatoxin (50 and 100 ppb) exposure. **Res Vet Sci.** 69:197–201
- OĞUZ, H. 2011. A review from experimental trials on detoxification of aflatoxin in poultry feed. **Eurasian J. Vet. Sci.** 27:1-1-12.
- OLIVEIRA, G.R. J.M. RIBEIRO, M.E. FRAGA, L.R. CAVAGLIERI, G.M. DIRECTO, K.M. KELLER, A.M. DALCERO, y C.A.R. ROSA. 2006. Mycobiota in poultry feeds and natural occurrence of aflatoxins, fumonisins and zearalenone in the Rio de Janeiro State, Brazil. **Mycopathologia** 162: 355-362.
- PRESELLO, D. G. EHYERABIDE, J. IGLESIAS, E. MROGINSKI, R. LOREA. 2015. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0 – Pág 79-106.
- RODRIGUEZ, S. 2013. Calidad de maíz para avicultura. IV Congreso Argentino de Nutrición Animal CAENA. 2013.
- ROSA, C.A.R. J.M.M. RIBEIRO, M.J. FRAGA, M. GATTI, L.R. CAVAGLIERI, C.E. MAGNOLI, A.M. DALCERO, y C.W.G. LOPES. 2006. Mycoflora of poultry feeds and ochratoxin-producing ability of isolated *Aspergillus* and *Penicillium* species. **Vet. Microbiol.** 113: 89-96.
- RABUTTI, J. 2015. Calidad y usos del maíz. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0 – Pág 235-250.
- SANT'ANA, A.S. 2010. Special issue on climate change and food science. *Food Research International*, 43(7), 1727–1728.
- SUR, E. y I. CELIK. 2003. Effects of aflatoxin B1 on the development of the bursa of Fabricius and blood lymphocyte acid phosphatase of the chicken. **Br. Poultry Sci.** 44:558–566.
- TIRADO, M.C. R. CLARKE, L.A. JAYKUS, A. MCQUATTERS-GOLLOP, J.M. FRANK. 2010. Climate change and food safety: A review. **Food Res. Int.** 43:1745–1765.
- THOMSON, J.A. 2008. El papel de la biotecnología para la sostenibilidad agrícola en África *Transacciones Filosóficas de la Sociedad Real de Londres Serie B - Ciencias Biológicas*, 363, pp. 905-913.

- TOTIS DE ZELJKOVICH, E. 2015. Requerimientos agroclimáticos del cultivo del maíz. En Bases para el cultivo del Maíz, Ed por G. Eyherabide. INTA Pergamino. ISBN: 978-987-679-141-0 – Pág. 7-24.
- U.E. (2003). Directiva 2003/100 de la Comisión de 31 de octubre de 2003 por la que se modifica el anexo I de la Directiva 2002/327CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre sustancias indeseables en la alimentación animal. Diario Oficial de la Unión Europea L285 de 01.11.2003, pp. 33-37.
- U.E. (2006). Recomendación de la Comisión 2006/576/CE de 17 de agosto de 2006 sobre la presencia de deoxinivalenol, zearalenona, ocratoxina A, toxinas T-2, HT-2 y fumonisinas en productos destinados a la alimentación animal. Diario Oficial de la Unión Europea L 229 de 23/08/2006, pp. 7-9.
- WU, F. D. BHATNAGAR, T. BUI-KLIMKE, I. CARBONE, R. HELLMICH, G. MUNKVOLD, P. PAUL, G. PAYNE, y E. TAKLE. 2011. Climate change impacts on mycotoxin risks in US maize World Mycotoxin Journal; 4; 79-93
- ZAKI, M., S.A. EL-MIDANY, H.M. SHAHEEN, y L. RIZZI. 2012. Review Mycotoxins in animals: Occurrence, effects, prevention and management. **J. Toxicol. Env. Health Sci.** 4:1-13-28.

## ANEXO

### INDICE DE FIGURAS

<b>Número</b>	<b>Páginas</b>
1. Cadena de valor del maíz	2
2. Estructura y composición del grano de maíz	3
3. Producción avícola de carne y de huevo	4
4. Variedades del maíz tipo dentado (A) y duro (B)	5
5. Ciclo del cultivo	8
6. Dispersión geográfica del cultivo en función del área sembrada promedio de las últimas cinco campañas	11
7. Producción total por provincia (datos promedios del último quinquenio)	12
8. Maíz contaminado por <i>Aspergillus</i>	13
9. Problemas sanitarios del maíz	13
10. Efecto de Aflatoxina en el crecimiento de pollos parrilleros a los 42 días de edad. T1: control, T2: 3ppm de Aflatoxina	18

### INDICE DE TABLAS

<b>Número</b>	<b>Páginas</b>
1. Destinos de la producción de maíz (millones de toneladas)	10
2. Otros destinos de la producción de maíz en Argentina (toneladas)	11
3. Buenas Prácticas Agrícolas	28