

# Contaminación por fumonisinas en maíz grano en Italia

Prácticas agronómicas y sistemas de ayuda a la toma de decisiones agronómicas



La prevención de las micotoxinas en el maíz grano es uno de los problemas de mayor actualidad e importancia en el sector cerealista, que obra para valorizar la productividad logrando al mismo tiempo una elevada calidad higiénico-sanitaria. Aunque una significativa reducción de la presencia de metabolitos tóxicos de hongos en los cereales se consigue en las fases posteriores a la cosecha, el problema de la contaminación por micotoxinas tiene que ser afrontado en el campo, que es la fase más difícil de controlar. Las medidas preventivas que se pueden aplicar en esta fase representan la mejor estrategia para garantizar un producto final seguro.

**Dr. Andrea Maiorano.**  
**Prof. Amedeo Reyneri.**

Department of Agronomy, Forest and Land Management. University of Turin.

Las fumonisinas son un grupo de toxinas carcinogénicas producidas principalmente por *Fusarium verticillioides* y *proliferatum* que son los hongos más comúnmente asociados con el maíz grano (Munkvold y Desjardins, 1997; Marin et al., 2004). Los límites que han sido fijados para las fumonisinas en el maíz para la alimentación humana en Europa (Reglamento 1126/ 2007) y los límites-guía para la alimentación animal (Recomendación 2006/576/EC) podrían representar un problema serio para las áreas de maíz del sur de Europa, donde el *F. verticillioides* encuentra unas condiciones climatológicas y medioambientales favorables a su ciclo de vida. Por ello, es necesario entender las relaciones entre las prácticas agrícolas y la síntesis de fumonisinas en el maíz grano.

## ► Maíz grano en Italia, el Valle del Po

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en el norte de Italia en una región conocida como Valle del Po (figura 1). En esta región se cultiva el 95% del maíz italiano (más de 10 millones de toneladas), con una producción media por hectárea de 10 toneladas. El maíz se siembra entre el 20 de marzo y el 10 de mayo y se cosecha, dependiendo del curso climático y del ciclo de la variedad sembrada, desde el 20 de agosto y hasta el 15 de octubre. El 80-82% de la producción es

para alimentación animal, el 12% para almidón y el 6-8% para la alimentación humana.

Las micotoxinas más frecuentes son las fumonisinas, producidas por *Fusarium verticillioides* que encuentra en las condiciones italianas las situaciones ecológicas favorables para su crecimiento y que favorecen una evidente ventaja competitiva respecto a otros hongos competidores (otros *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp.).

### Control de la contaminación de fumonisinas

Diferentes investigaciones han demostrado que muchas prácticas agronómicas pueden influir directamente o indirectamente en el desarrollo de los hongos toxígenos y la consecuente producción de toxinas. Entre las prácticas agronómicas más importantes se han evidenciado: la elección varietal, la época de siembra, la densidad de siembra, la fertilización nitrogenada y la fecha de cosecha.

#### Elección varietal

Las investigaciones realizadas hasta ahora han demostrado que no hay variedades inmunes a los hongos toxígenos. Pero, entre las variedades, sí hay una susceptibilidad diferente debida sobre todo a las características físicas y químicas del grano: las más sensibles a las fumonisinas son los híbridos con granos harinosos y los híbridos waxy, debido al hecho de que la maduración es más lenta y los hongos tienen más tiempo para desarrollarse.

#### Época de siembra

La época de siembra es uno de los factores más importantes para la determinación de la salubridad de la cosecha. Con la siembra anticipada, es decir, efectuada en cuanto las condiciones edafoclimáticas la hacen posible (desde el 20 de marzo), se presentan contaminaciones que, de media, son inferiores en un 50% frente a las de las siembras tradicionales o tardías, es decir, efectuadas a partir de la segunda mi-

tad de abril. Más en general, entre las diferentes prácticas agronómicas para la reducción de los estreses por el cultivo, la siembra anticipada representa el primer paso para mejorar la calidad general de las producciones, y para conseguir evidentes ventajas productivas sin agravio de costes, ya que se trata de una simple racionalización de una práctica agronómica.

#### Densidad de siembra

Las condiciones microclimáticas en el interior del cultivo pueden influir el desarrollo de los hongos. En particular, los cultivos más vigorosos crean un microambiente cerrado y prolongan la condiciones favorables si la densidad es demasiado alta. El efecto de una densidad de siembra muy alta es muy normal en los ambientes más fértiles y puede llegar a determinar una contaminación de fumonisinas un 60% más alta comparada con las densidades aconsejadas por las empresas de semillas (Blandino et al., 2008).

**LA SIEMBRA ANTICIPADA** representa el primer paso para mejorar la calidad general de las producción y para conseguir ventajas productivas sin agravio de costes, al ser una simple racionalización de la práctica agronómica

#### Estreses nutricionales

El efecto de la fertilización nitrogenada sobre las condiciones que influyen en el crecimiento de los hongos toxígenos es muy complejo y no siempre muy evidente. Las experimentaciones italianas han evidenciado que los niveles más bajos de toxinas se encuentran en fertilizaciones equilibradas a las necesidades del cultivo.

#### Tratamiento químico contra el taladro

Debido al hecho de que en Italia el cultivo de plantas OGM no está todavía permitido, la forma de lucha más eficaz contra el tala-

dro es el tratamiento químico. El tratamiento realizado sobre maíz sembrado en época anticipada, determina una reducción media de la gravedad del daño del 55%, con el consiguiente control medio de la contaminación de fumonisinas del 62%. En las más favorables condiciones de aplicación han sido registradas reducciones de hasta el 80% de la contaminación. En el caso de siembras tradicionales el tratamiento químico pierde parte de su eficacia.

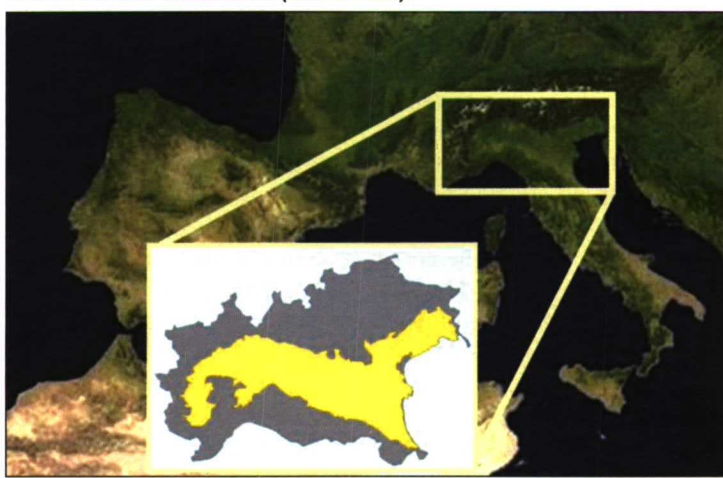
#### Humedad de la cosecha

Esperar a una humedad baja para gastar menos en el secado del grano significa al mismo tiempo ofrecer a los hongos más tiempo para desarrollarse y producir toxinas. Así que, cosechar temprano supone interrumpir la actividad del hongo. La humedad de la cosecha tiene que ser evaluada en cada caso y condiciones (**cuadro I**) para lograr el doble objetivo de la salubridad del grano y de la reducción de los costes de secado.

### Más allá de las buenas prácticas agronómicas

La aplicación de prácticas agronómicas dirigidas al control de las fumonisinas representa la primera línea de defensa para controlar la contaminación, pero su simple aplicación podría ser ineficaz ya que no todos los factores son igual de importantes, y que también pueden producirse interacciones entre estos factores. La organización del proceso productivo requiere un proceso muy complejo de toma de decisiones para el operador en el campo que tiene que evaluar constantemente las consecuencias de sus decisiones en la productividad, seguridad y calidad del producto a la cosecha. Un sistema de ayuda a la toma de decisiones (SATD) en la agricultura es un sistema de organización de las informaciones relativo a la ecología del cultivo y a su gestión técnica y económica, basado en el empleo de modelos lógicos y matemáticos. Un SATD permite un empleo más eficiente de los recursos económicos, técnicos y de cultivo y aumenta la ca-

**Figura 1.** NORTE DE ITALIA Y VALLE DEL PO (EN AMARILLO).

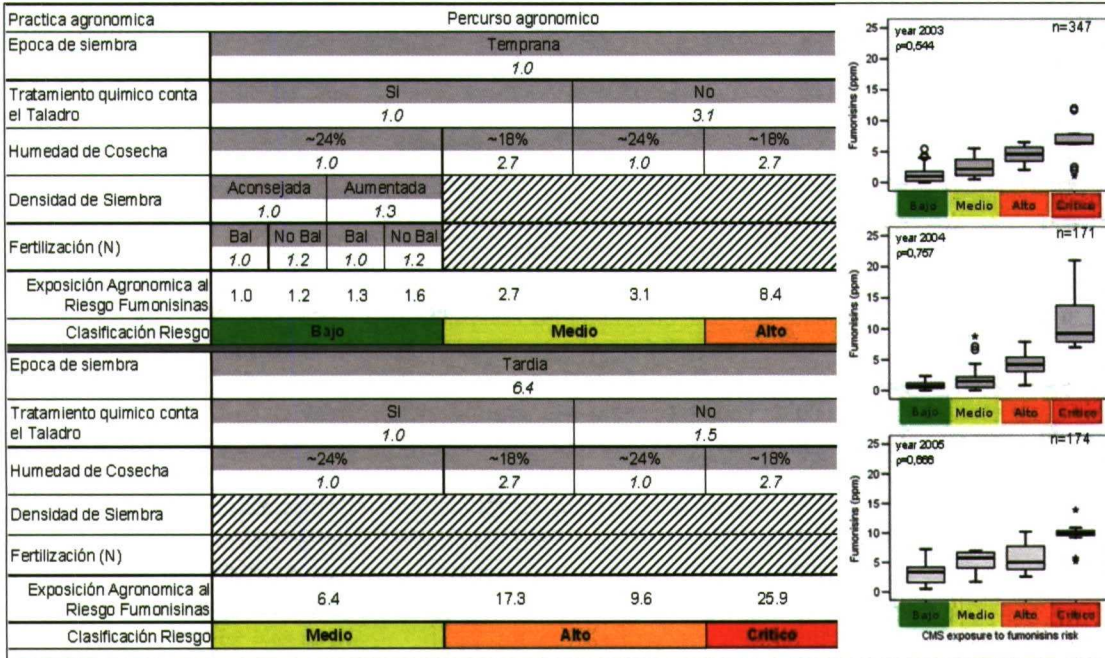


**Cuadro I.** Humedad de cosecha recomendada en las condiciones italianas para controlar las fumonisinas en maíz grano.

Curso climático	Utilización				
	Uso alimentario		Piensos		
	Adultos	Niños	Cerdos	Bovinos adultos	Terneros -Pollos
Fresco y húmedo	24%-26%	≥26%	24-26%	22%-24%	24%-26%
Ordinario	24%-26%	≥26%	22-24%	20%-22%	22%-24%
Cálida y seco	24%-26%	≥26%	20-22%	18%-20%	18%-20%

Figura 2.

TABLA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AGRONÓMICA AL RIESGO DE FUMONISINAS (A LA IZQUIERDA) Y RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS DIFERENTES NIVELES DE RIESGO (A LA DERECHA). LOS COLORES ESTÁN RELACIONADOS CON LOS DIFERENTES NIVELES DE RIESGO ASOCIADOS CON LAS TÉCNICAS AGRONÓMICAS.



(Fertilización: Bal.=Equilibrada, No Bal: No equilibrada).

nes agronómicas obtiene una puntuación final, denominada coeficiente de exposición al riesgo, que es el producto de las puntuaciones individuales. El resultado es la tabla para la evaluación de la exposición agronómica al riesgo de fumonisinas (figura 2).

El sistema de evaluación propuesto permite colocar un sistema agronómico en una categoría de exposición al riesgo: baja, media, alta o crítica. La clasificación en esta categoría permite evaluar los posibles mercados de distribución del producto (cuadro II). Por ejemplo, un operador que elija: siembra temprana (coeficiente 1), tratamiento químico contra el taladro (coeficiente 1), cosecha tardía (coeficiente 3), densidad de siembra aconsejada y nutrición equilibrada (coeficientes 1 y 1), tendrá un coeficiente de exposición al riesgo de 3, y su sistema productivo será clasificado como riesgo mediano y muy probablemente la calidad de su cosecha será medio-alta (cuadro II).

La veracidad de los niveles de exposición al riesgo (bajo, mediano, alto y crítico) conseguida con el sistema de evaluación ha sido verificada empleando un dataset constituido por datos de contaminaciones registrados en 217 muestras en 2003, 119 en 2004 y 105 en 2005 (figura 2). Como se puede apreciar, la contaminación por fumonisinas correspondiente a la media de los ensayos atribuido a las distintas categorías de exposición crece progresivamente de la categoría baja a aquella crítica en todos los años, confirmando la capacidad del sistema propuesto para clasificar los sistemas agronómicos de mayor a menor riesgo de contaminación.

La tabla para la evaluación de la exposición agronómica al riesgo de fumonisinas ha sido pensada como una guía agronómica de referencia para dirigir las técnicas en campo en función de los estándares sanitarios que se quieren conseguir y, en consecuencia, en función del mercado de destino de la producción (Maiorano et al., 2007b).

lidad de las decisiones del operador con la definición de un plan estratégico organizado y basado en las condiciones que se presentan durante el ciclo de cultivo. El SATD nace por lo tanto para satisfacer las exigencias de un mundo agrícola cada vez más complejo y competitivo y que solicita una renovación continua de los instrumentos con que afrontar los problemas técnicos.

Los dos sistemas de ayuda a la toma de decisiones que se presentan en la última parte de este artículo son el resultado de dos diferentes investigaciones sobre fumonisinas en maíz grano llevadas a cabo por el grupo de investigación en micotoxinas en los cereales del Departamento de Agronomía de la Universidad de Turín (Italia) en colaboración con Pioneer Hi Bred Italia.

### Evaluación de la exposición agronómica al riesgo de fumonisinas

La integración de los resultados conseguidos con experimentaciones sobre diferentes

técnicas agronómicas ha permitido elaborar la tabla de evaluación de la exposición agronómica al riesgo de acumulación de fumonisinas. Por exposición agronómica al riesgo se entiende la mayor o menor probabilidad de acumulación de fumonisinas, y se expresa con un coeficiente de exposición, resultado de una definida serie de elecciones agronómicas. En el mismo, no se toman en consideración las condiciones meteorológicas y ambientales, sino que se consideran exclusivamente diferentes técnicas agronómicas proba-

das en tesis experimentales. Las técnicas agronómicas han sido ordenadas según su importancia en influenciar la contaminación:

- La época de siembra.
- El tratamiento químico contra el taladro.
- La fecha de cosecha.
- La densidad de siembra.
- La fertilización nitrogenada.

Por cada práctica, se sugieren dos decisiones de técnica agronómica y a cada decisión se asocia una puntuación. El sistema de manejo compuesto por el conjunto de todas las decisio-

### Cuadro II.

Probable calidad higiénico-sanitaria del producto final y consiguiente orientación productiva.

Exposición agronómica al riesgo	Calidad Higiénico-sanitaria	Orientación productiva
Baja	Alta	Alimentación humana y animal
Mediana	Medio-Alta	Piensos de alta calidad Bien para monogástricos
Alta	Baja	Piensos de calidad estándar Bien para poligástricos Riesgo exclusión monogástricos Producción de bioetanol
Crítica	Alta probabilidad de superar todos los límites de la UE	Otros empleos

## ► FUMAgain, un modelo de evaluación del riesgo de síntesis de fumonisinas en maíz grano

Si por un lado un instrumento como la tabla para la evaluación de la exposición agronómica al riesgo de fumonisinas provee una importante ayuda al operador, sugiriendo las mejores prácticas agronómicas, del otro esta solución presenta un límite: normalmente un recorrido agronómico está programado y definido al principio de un proceso productivo y no varía sucesivamente, durante las fases del cultivo. De este modo las decisiones de las prácticas agronómicas no están adaptadas a las condiciones climáticas y ambientales que condicionan de manera determinante: la eficiencia misma de las elecciones agronómicas, la fisiología del cultivo, la presión ejercida por el taladro, el crecimiento del hongo y la relativa producción de toxinas.

Aparece por lo tanto eficaz y útil un instrumento capaz de ayudar al operador a tomar decisiones agronómicas durante el desarrollo del cultivo, considerando las condiciones agronómicas y climatológicas que se averiguan durante las distintas fases del cultivo.

A este propósito, ha sido desarrollado un sistema de ayuda a la toma de decisiones basado en un modelo dinámico de simulación del riesgo de acumulación de fumonisinas en el maíz grano.

Este se articula en tres submodelos relativos al: desarrollo fenológico de la planta y del secado del grano, al crecimiento del *F. verticillioides* y a la producción de fumonisinas, y al taladro por su importante papel en la contaminación por fumonisinas (Munkvold, 2003; Alma et al., 2005).

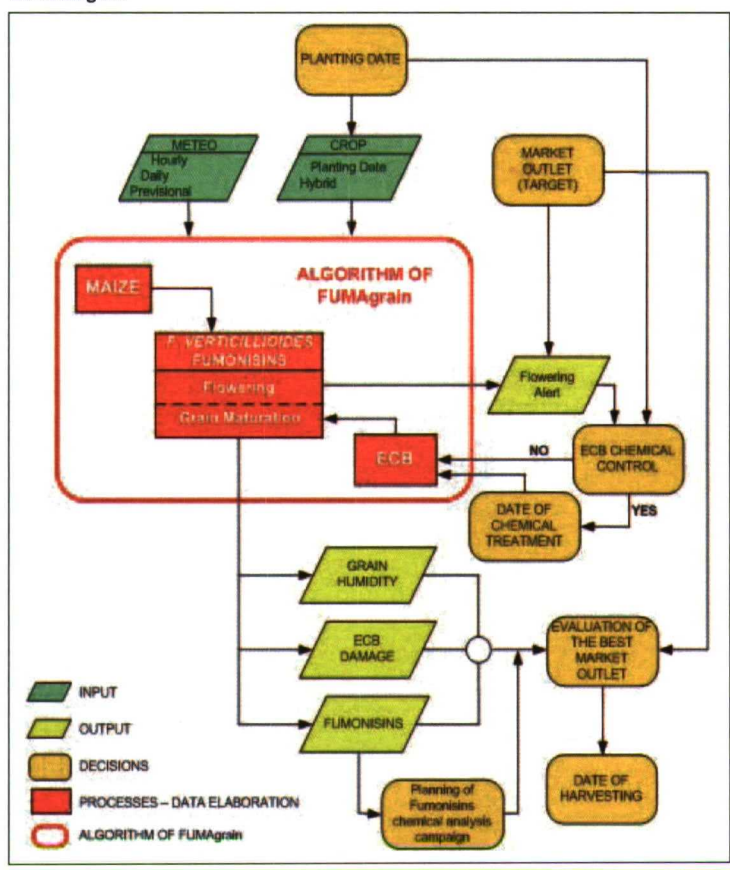
El modelo utiliza como input:

- La fecha de siembra.
- El híbrido sembrado.
- El tratamiento químico contra el taladro (tratado / no tratado, y fecha del tratamiento).
- Datos meteorológicos horarios.

Con la elaboración de los da-

Figura 3.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES BASADO EN FUMAgain



tos, el modelo provee una primera indicación de alerta de riesgo al final de la floración, basada en las condiciones meteorológicas registradas hasta entonces y, en particular, a aquellas encontradas durante la floración. Estas condiciones influyen en la dinámica de la infección del hongo en las sedas de la mazorca. Sucesivamente, durante la fase de maduración de la mazorca, el modelo permite monitorar en tiempo real:

- El desarrollo fenológico del cultivo y la humedad del grano.
- La progresión del daño de taladro expresado como porcentaje medio de erosión de taladro sobre las espigas.
- La acumulación de fumonisinas.

El sistema de ayuda a la toma de decisiones (figura 3) está basado en las informaciones provistas por el modelo (humedad del grano, contenido de fumonisinas, gravedad del daño del taladro) que pueden permitir: elegir la orientación productiva más idónea basada en la contamina-

ción esperada (calculada por el modelo), dirigir la fecha de cosecha para optimizar los costes de secado consiguiendo el máximo ahorro y al mismo tiempo producciones con contaminaciones muy bajas. En efecto, en estos casos, gracias a las informaciones del modelo es posible respetar los límites definidos por el segmento de mercado de interés (para alimentación o para piensos), también con variedades no

particularmente tempranas.

En este momento FUMAgain representa la primera versión operativa de un instrumento que ha sido pensado para dar respuesta al mayor número de incógnitas de orden técnico y de gestión surgidas dentro de los límites europeos, permitiendo refinar las operaciones de cultivo y las estrategias productivas (Maiorano et al., 2007a).

## ► Conclusiones

El conjunto de las condiciones ambientales, de cultivo y conservación de los cereales, es determinante para la calidad y la salud final del grano de maíz. La obtención de alimentos y pienso cualitativamente superiores sólo es posible si todos los operadores de la cadena productiva son conscientes de la importancia de su función. Sin embargo, el problema de la contaminación por micotoxinas tiene que ser ante todo afrontado en el campo y las medidas preventivas que se pueden aplicar en esta fase, representan la mejor estrategia para garantizar un producto final con una menor probabilidad de contaminaciones inaceptables. Los sistemas de ayuda a la toma de decisiones representan un instrumento muy útil para controlar un proceso productivo que hoy se ha hecho muy complejo por los diferentes requisitos que el mercado por un lado, y la Unión Europea por otro, imponen al operador, es decir: alta calidad productiva, nutricional, tecnológica y sanitaria. ■

## Bibliografía

- Alma, A., Lessio, F., Reyneri, A., Blandino, M., 2005. Relationships between *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera : Crambidae) feeding activity, crop technique and mycotoxin contamination of corn kernel in northwestern Italy. *International Journal of Pest Management*, 51(3): 165-173.
- Blandino, M., Reyneri, A., Vanara, F., 2008. Effect of plant density on toxicogenic fungal infection and mycotoxin contamination of maize kernels. *Field Crops Research*, 106: 234-241.
- Lopez-Garcia, R., Park, D.L., Phillips, T.D., 1999. Integrated mycotoxin management systems. *Food, Nutrition and Agriculture*, 23: 38-48.
- Maiorano, A., Magni, A., Ramponi, C., Reyneri, A., 2007a. Un aiuto nella gestione delle fumonisine nel mais. *L'Informatore Agrario*, 22: 76-79.
- Maiorano, A., Reyneri, A., Maffioli, G., Ramponi, C., 2007b. Stima del "rischio fumonisine" nella granella di mais. *L'Informatore Agrario*(7): 52-57.
- Marin, S., Magan, N., Ramos, A.J., Sanchis, V., 2004. Fumonisin-producing strains of *Fusarium*: A review of their ecophysiology. *Journal of Food Protection*, 67(8): 1792-1805.
- Munkvold, G.P., 2003. Mycotoxins in corn-occurrence, impact, and management. In: P.G. White and L.A. Johnson (Editors), *Corn: chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, pp. 811-881.
- Munkvold, G.P., Desjardins, A.E., 1997. Fumonisins in maize - Can we reduce their occurrence? *Plant Disease*, 81(6): 556-565.
- Reyneri, A., Blandino, M., Vanara, F., Maiorano, A., 2005. Fattori agronomici che influenzano la produzione di micotossine. *Informatore Fitopatologico*, 3: 3-10.