



*Los resultados indican la necesidad de un adecuado sistema de gestión integrada de riesgos, que tenga en cuenta la gestión previa a la cosecha y la poscosecha*

# Efecto de las condiciones climáticas, las prácticas agronómicas y el procesado tecnológico sobre la micotoxina de oxinivalenol en trigo duro

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación sobre el efecto de las condiciones climáticas y las prácticas agronómicas en la presencia de la micotoxina deoxinivalenol (DON) en trigo duro cultivado bajo condiciones ecológicas y convencionales, así como el efecto de los tratamientos tecnológicos de molienda sobre la distribución del DON en las diferentes fracciones. Los resultados indican la necesidad de un adecuado sistema de gestión integrada de riesgos, que tenga en cuenta la gestión previa a la cosecha (buenas prácticas agrícolas), así como durante la cosecha y la poscosecha (buenas prácticas de fabricación y almacenamiento).

Giménez, I.; Escobar, J.; Ferruz, E.; Lorán, S.; Carramiñana, J.J.; Rota, C.; Conchello, P.; Herrera, A y Ariño A., de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza

Juan, T. y Estopañan, G. del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón

Herrera, M. de la Fundación Parque Científico-Tecnológico Aula Dei

Gutiérrez, M. del Centro de Transferencia Agroalimentaria de la DGA

## Introducción

El deoxinivalenol (DON, vomitoxina) forma parte de la familia de los tricocenos, una clase importante de micotoxinas que constituyen contaminantes naturales de los cereales. Las principales especies de mohos productores de DON son *Fusarium graminearum* y *F. culmorum*, que producen fusariosis de los cereales en climas templados y fríos, respectivamente, aunque con el cambio climático podría modificarse la distribución de las especies y cepas tóxicas entre diferentes zonas del

mundo. No en vano, la gravedad de la fusariosis depende de las condiciones climáticas y se cree que el riesgo de producción de DON en los cereales aumenta cuando existe una gran humedad durante y después de la floración. Por este motivo, la incidencia de altas concentraciones de DON está relacionada con la intensidad de las lluvias durante el momento crítico de la floración de los cereales, por lo que pueden observarse grandes variaciones de un año a otro y de región a región (FAO/OMS, 2011). Las especies tóxicas



## Se analizaron un total de 117 muestras de trigo duro recién cosechadas (2 kg por muestra) que fueron recogidas de agricultores y cooperativas de la provincia de Zaragoza

nicas de Fusarium producen habitualmente DON en el campo (pre-cosecha), aunque también es posible su síntesis durante el almacenamiento si los cereales tienen un elevado contenido de humedad (Aldred y Magan 2004, Edwards 2004).

El Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JEFCA) ha establecido para el DON y sus derivados acetilados (3-AcDON y 15-AcDON) una ingesta diaria tolerable máxima provisional (IDTMP) de 1 µg/kg de peso corporal (FAO/OMS, 2010). La presencia mundial de DON en los cereales está ampliamente documentada, siendo trigo y maíz los cultivos más afectados. En comparación con otros cereales, el trigo duro (*Triticum durum*) es muy susceptible al desarrollo de fusariosis y la subsiguiente producción de deoxinivalenol (Rasmussen et al. 2003; Langevin et al. 2004), aunque la mayor parte de publicaciones disponibles se refieren a la contaminación del trigo blando (*Triticum aestivum*).

La limpieza inicial de los granos de cereales, la molienda del cereal entero y

la elaboración de diversas fracciones del grano molido para elaborar alimentos, pueden modificar la concentración de DON (Scudamore, 2008). Los cereales que se cosechan para consumo humano suelen limpiarse antes de la molienda para retirar impurezas y granos rotos o dañados, consiguiendo reducciones variables en las concentraciones de DON que pueden alcanzar el 51% (Delwiche et al., 2005). Durante la molienda del trigo se encuentran mayores concentraciones de DON en la cáscara (salvado), mientras que las técnicas de molturación pueden reducir los niveles de DON en la sémola y la harina aproximadamente un 50% respecto de la concentración del grano entero limpio (Nisho et al. 2010). En

general, el DON remanente en los productos de la molienda es bastante estable durante los procesos de fabricación de pan, pastas alimenticias, cereales de desayuno y alimentos infantiles, por lo que es posible detectar su presencia en alimentos para consumo humano a base de cereales.

En el estudio Scoop Task (EC 2003), se observó que el DON es un contaminante frecuente de los cereales europeos con los siguientes porcentajes de muestras positivas: 89% en maíz, 61% en trigo, 47% en cebada, 41% en centeno y 33% en avena. En dicho estudio europeo se evaluó la exposición alimentaria y se calculó que la ingesta total estimada de DON por la población adulta era del 14-46% de la IDTMP, aunque para la población infantil la ingesta estimada alcanzaba el 11-96% de la IDTMP. En muchos países del mundo se han establecido niveles máximos de DON en diversos cereales sin procesar y/o alimentos a base de cereales. Los contenidos máximos de deoxinivalenol que se han establecido por la legislación europea en los productos alimenticios se señalan en la Tabla 1.

Todos estos datos indican la necesidad de un adecuado sistema de gestión integrada de riesgos, que tenga en cuenta la gestión previa a la cosecha (buenas prácticas agrícolas), la gestión durante la cosecha y la gestión poscosecha (buenas prácticas de fabricación y almacenamiento). En varios países se han creado modelos predictivos que tienen en cuenta factores climáticos, sensibilidad varietal, uso de fungicidas, y prácticas agrícolas como la rotación de cultivos y el manejo de residuos de cosechas previas (Prandini et al., 2008; Gourdain et al., 2011).

En Europa (datos para UE-27), alrededor del 4,7% de la superficie agrícola total se dedica a la agricultura ecológica (FIBL 2011). La agricultura ecológica en

Código	Productos alimenticios	Contenidos máximos (µg/kg)
2.4.1	Cereales no elaborados que no sean trigo duro, avena y maíz	1.250
2.4.2	Trigo duro y avena no elaborados	1.750
2.4.3	Maíz no elaborado, excepto el destinado a molienda por vía húmeda	1.750
2.4.4	Cereales destinados al consumo humano directo, harina de cereales, sémola, salvado y germen como producto final comercializado para el consumo humano directo, a excepción de los productos alimenticios enumerados en los puntos 2.4.7, 2.4.8 y 2.4.9	750
2.4.5	Pasta alimenticia (seca)	750
2.4.6	Pan (incluidos pequeños productos de panadería), pasteles, galletas, aperitivos de cereales y cereales para desayuno	500
2.4.7	Alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad	200
2.4.8	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula > 500 micras, no destinadas al consumo humano directo	750
2.4.9	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula ≤ 500 micras, no destinadas al consumo humano directo	1.250

Tabla 1: Contenidos máximos de deoxinivalenol en los productos alimenticios según Reglamento CE nº 1881/2006 y Reglamento CE nº 1126/2007.

España constituye alrededor del 5% de la superficie agrícola, lo que supone 1,3 millones de hectáreas. Los productos ecológicos se cultivan sin la ayuda de pesticidas de síntesis y sin fertilizantes minerales solubles, además de utilizar generalmente menos labranza de los suelos. Dado que en la agricultura ecológica no se permite el uso de fungicidas de síntesis, la presencia relativa de mohos toxigénicos y micotoxinas en los alimentos ecológicos y convencionales ha sido objeto de muchos estudios. En Francia, Malmauret et al. (2002) indicaron que el trigo de cultivo ecológico presentaba mayores concentraciones de DON que el de cultivo convencional. En un estudio realizado en Reino Unido entre los años 2001 y 2005, no se detectaron diferencias en las concentraciones de DON entre cereales ecológicos y convencionales (Edwards, 2009). En Noruega, Bernhoft et al. (2010) indicaron que los cereales ecológicos presentan menores tasas de infección por *Fusarium* y de micotoxinas que los cereales de cultivo convencional. Igualmente, Birzele et al. (2002) y Doll et al. (2002) detectaron que en Alemania, el trigo blando de cultivo ecológico mostraba menor incidencia de fusariosis y menores tasas de contaminación por DON que el cultivado por métodos convencionales.

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación sobre el efecto del clima y de las prácticas agronómicas en la presencia de deoxinivalenol en trigo duro cultivado bajo condiciones ecológicas y convencionales, así como el efecto de los tratamientos tecnológicos de molienda sobre la distribución del DON en las diferentes fracciones.

### Material y métodos: muestras y análisis de DON

Se analizaron un total de 117 muestras de trigo duro recién cosechadas (2 kg por muestra) que fueron recogidas de agricultores y cooperativas de la provincia de Zaragoza. Durante la cosecha 2006 se tomaron 47 muestras de trigo duro de cultivo convencional y 31 de trigo duro de cultivo ecológico, mientras que en la cosecha 2007 se recogieron 20 muestras convencionales y 19 ecológicas. Las muestras ecológicas fueron certificadas por el Comité Aragonés de Agricultura Ecológica. A los efectos de comparación, durante las cosechas 2006 y 2007 la superficie media dedicada al cultivo de trigo duro en España fue de 590.000 hectáreas, 30% de las cuales se cultivaron en la provincia de Zaragoza, y casi el 10% del



Figura 1: Detalle del cromatógrafo líquido con detector de red de diodos (LC-DAD) para la determinación de deoxinivalenol (DON) en las muestras.

trigo duro de Zaragoza fue de cultivo ecológico (MARM 2011).

La técnica analítica de DON en trigo duro, descrita por Herrera et al. (2009), se basa en la homogeneización de la muestra (10 g) y extracción con solventes orgánicos (ACN:H<sub>2</sub>O, 84:16), purificación por columnas Mycosep 225 y determinación por cromatografía líquida con detector de red de diodos (LC-DAD) (Figura 1). Para la confirmación de resultados se utilizaron columnas de inmunoafinidad DonStar y un cromatógrafo de líquidos acoplado a un detector de masas de triple cuadrupolo (Figura 2). El porcentaje de recupera-

ción de la técnica fue del 100% y los límites de detección y cuantificación fueron de 33 y 100 µg/kg, respectivamente. La calidad de los datos analíticos se aseguró mediante la participación en un ejercicio interlaboratorio para micotoxinas en cereales (Progetto Trieste). En la Figura 3 se muestra un cromatograma de una muestra de trigo duro contaminada con DON.

### Cultivo ecológico y cultivo convencional: datos agronómicos y climáticos

Las principales diferencias entre los sistemas agronómicos en estudio fueron



Figura 2: Detalle del cromatógrafo líquido con detector de masas (triple cuadrupolo) para la confirmación de DON en las muestras.



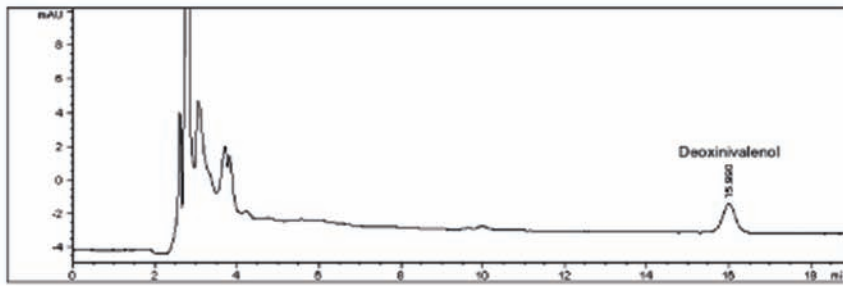


Figura 3: Cromatograma de una muestra de trigo duro contaminada con DON.

las rotaciones de cultivos, los métodos de fertilización del suelo y la labranza. La rotación de cultivos en las parcelas convencionales fue trigo duro seguido por trigo duro u otro cereal, mientras que en las fincas ecológicas el sistema de rotación era trigo duro seguido de barbecho. En las parcelas convencionales se utilizaron fertilizantes nitrogenados sintéticos, mientras que en las ecológicas se utilizó compost y paja de cereales. En las fincas ecológicas se utilizaron técnicas de labranza reducida, mientras que en las parcelas convencionales se utilizaron técnicas de labranza que permitieran un cultivo más intensivo. Las diferencias entre los valores medios de temperatura, humedad relativa y precipitación durante el período desde la floración (abril), hasta la cosecha del cereal (julio), junto con los valores históricos promedio para los lugares de muestreo se presentan en la Tabla 2.

#### Procesado tecnológico

Las concentraciones de DON obtenidas en las 117 muestras de trigo duro recién cosechado se compararon con los resultados de 17 lotes de sémola obtenidos por molienda comercial de trigos duros de la misma procedencia que las muestras de campo. Este ensayo se realizó en una empresa colaboradora de la C.A. de Aragón dedicada a la fabricación de pastas alimenticias, con el objeto de evaluar el efecto del proce-

sado tecnológico sobre las tasas de DON en trigo duro y su correspondiente sémola.

Asimismo, un lote de trigo duro con una contaminación de DON por encima del contenido máximo permitido ( $>1.750 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) se sometió a molienda experimental en un molino Chopin CD2 (Figura 4) obteniendo las fracciones de salvado, sémola y harinilla, y así poder estudiar la distribución del DON en las diferentes fracciones.

Finalmente, en un estudio posterior con trigo blando, se analizó la distribución de DON entre el grano entero y el correspondiente germen de trigo durante el proceso comercial de molienda en una industria harinera aragonesa.

#### Resultados y discusión

Se observó contaminación por deoxinivalenol en trigo duro durante las dos cosechas, pero los porcentajes de incidencia y los valores medios fueron distintos dependiendo de las condiciones climáticas y las prácticas agrícolas. El porcentaje de muestras de trigo duro de la cosecha 2006 que fueron positivas a DON fue del 22,6% en la producción ecológica y del 29,8% en la convencional. El porcentaje de positivos en la cosecha 2007 fue de 36,8% y 35%, respectivamente (Tabla 3). Durante la cosecha 2006 las concentraciones medias de DON fueron muy similares

entre las muestras ecológicas (88  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) y convencionales (126  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Sin embargo, los niveles medios de DON en las muestras de la cosecha 2007 fueron superiores a los observados en 2006, alcanzando los 106  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en trigo duro ecológico y 364  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en trigo duro convencional. Sólo una muestra de trigo duro convencional de la comarca de Cinco Villas con 2.330  $\mu\text{g}/\text{kg}$  DON superó el límite máximo fijado en 1.750  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . En general, las tasas de DON tendieron a ser mayores en las muestras de origen convencional, lo que podría ser atribuible al uso de fertilizantes nitrogenados que estimulan el desarrollo de *Fusarium*, así como a la mayor intensidad de cultivo y las rotaciones utilizadas. Sin embargo, a pesar de las diferencias observadas, el posterior análisis estadístico mediante Anova no reveló diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los dos sistemas de cultivo.

## Las condiciones climáticas favorables tienden a ser más importantes para la contaminación por DON que las prácticas agronómicas

Como se muestra en la Tabla 3, la incidencia y los niveles de DON fueron mayores en la cosecha del segundo año, lo que podría explicarse por las diferentes condiciones climáticas durante la floración en las cosechas 2006 y 2007. En el noreste de España, la floración del trigo duro se produce en torno al mes de abril, y las precipitaciones fueron de 53,7 mm en 2006 y ascendieron a 127,4 mm en la temporada 2007, en comparación con el valor de referencia histórico de 44,6 mm (ver Tabla 2). Por lo tanto las condiciones climáticas permitieron una humedad relativa superior al 70% en abril de 2007, junto a temperaturas moderadas durante el período de maduración hasta la cosecha (julio), lo que podría haber favorecido la infección por *Fusarium* toxigénicos productores de DON. Por lo tanto, los resultados obtenidos

Mes	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)		Precipitaciones (mm)		
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	Histórico
Abril	13,6	13,6	63,1	72,6	53,7	127,4	44,6
Mayo	18,4	16,3	55,0	63,1	19,6	46,2	56,6
Junio	21,9	20,7	53,3	55,4	93,6	46,2	43,5
Julio	25,7	22,3	53,0	50,7	45,8	0,6	24,4

Tabla 2: Valores medios de temperatura, humedad relativa y precipitaciones durante las campañas 2006 y 2007. Datos para la localidad de Tauste (comarca de Cinco Villas) obtenidos en <http://servicios.aragon.es/oresa/>

sugieren que las condiciones climáticas favorables tienden a ser más importantes para la contaminación por DON que las prácticas agronómicas.

## La mayor parte del DON se concentra en la cáscara del grano y se distribuye con la fracción de salvado, mientras que la parte interna de la que se obtiene la sémola, tiene un menor grado de contaminación

Los estudios sobre la presencia natural de DON en los cereales han demostrado que es un contaminante común del trigo duro en varias partes del mundo (Lori et al. 2003; Visconti et al. 2004). En ocasiones, en algunas zonas de Europa se presentan concentraciones de DON por encima de 1.000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Menniti et al. 2003; Rasmussen et al. 2003). En el citado informe Scoop Task (EC, 2003), se presentan los resultados de 97 muestras francesas de trigo duro con una



Figura 4: Molino Chopin CD2 para la molienda experimental de trigo duro.

positividad a DON del 73% y una concentración media de 497  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . En relación con la infección por *Fusarium* y la síntesis de DON se han identificado varios factores de riesgo. Las condiciones climáticas durante el crecimiento, en particular la pluviometría y el clima húmedo durante la floración, tienen una gran influencia sobre el contenido de micotoxinas, como se observó en el presente estudio en la C.A. de Aragón. Asimismo, en una investigación de 100 muestras de trigo duro en Argentina, 69% fueron positivas a DON y 23% tenían una concentración por encima de 2.000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , siendo que las muestras más contaminadas procedían de las

zonas húmedas con altas precipitaciones (más de 100 mm durante la floración) (Lori et al. 2003).

En cuanto a los estudios que comparan las tasas de DON en trigo duro ecológico y convencional, el informe Scoop Task (EC, 2003) recoge una comparación entre 41 muestras convencionales y 12 muestras ecológicas de los Países Bajos, con unos porcentajes de positividad a DON del 61% y 25%, y unas tasas medias de 293  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y 134  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente. Mäder et al. (2007) publicaron los resultados de 21 años de estudios de la calidad del trigo blando (*Triticum aestivum*) cultivado en sistemas ecológicos y convencionales, concluyendo que a pesar de la exclusión de los fungicidas de los sistemas de producción ecológica, las cantidades de micotoxinas detectadas fueron bajas en ambos sistemas y no presentaron diferencias significativas.

Con el objetivo de investigar el efecto de la molienda del trigo duro sobre las tasas de DON, se compararon las concentraciones medias obtenidas en las 117 muestras de campo con los resultados de 17 lotes de sémola de trigo duro de la misma procedencia. Como se observa en la Tabla 4, la positividad a DON en la sémola fue del 17,6% y la tasa media de contaminación fue de 80  $\mu\text{g}/\text{kg}$  con un valor máximo de 294  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . De esta comparación se deduce que el proceso de limpieza y acondicionamiento del trigo duro unido a su molturación a escala industrial, reducen aproximadamente un 50% la incidencia y grado de contaminación por DON en la sémola utilizada para la elaboración

Cosecha	Cultivo	n	% Positivos	Media $\pm$ ES ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Máximo ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
2006	Convencional	47	29,8%	126 $\pm$ 27	1.072
	Ecológico	31	22,6%	88 $\pm$ 16	470
2007	Convencional	20	35,0%	364 $\pm$ 146	2.330
	Ecológico	19	36,8%	106 $\pm$ 25	508

Tabla 3: Incidencia (% positivos), concentración (media  $\pm$  error estándar) y valores máximos de deoxinivalenol en muestras de trigo duro de cultivo convencional y ecológico.

Muestra	n	% Positivos	Media $\pm$ ES ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Máximo ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Trigo duro	117	30%	153 $\pm$ 27	2.330
Sémola	17	17,6%	80 $\pm$ 18	294

Tabla 4: Incidencia (% positivos), concentración (media  $\pm$  error estándar) y valores máximos de deoxinivalenol en trigo duro y en sémola obtenida a escala industrial.

de pastas alimenticias. Posteriormente, realizamos una molienda experimental de trigo duro en un molino Chopin CD2, utilizando una muestra contaminada con DON por encima del límite máximo legal. Considerando como 100% la contaminación del grano entero, la contaminación de las diferentes fracciones fue: salvado 153%, sémola 87% y harinilla 108%. Este estudio indica que la mayor parte del DON se concentra en la cáscara del grano y se distribuye con la fracción de salvado, mientras que la parte interna de la que se obtiene la sémola, tiene un menor

grado de contaminación, lo que concuerda con el estudio a escala industrial que se presenta en la Tabla 4. Finalmente, hemos realizado un estudio de molienda industrial de varios lotes de trigo blando, encontrando que el factor de distribución de DON entre el grano entero y el correspondiente germen de trigo es de 48%, por lo que se deduce que el germen de trigo, utilizado como suplemento dietético y para la obtención de aceite, presenta un grado de contaminación por DON que supone aproximadamente la mitad que el trigo de procedencia.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada gracias a la financiación obtenida por los proyectos AGL2008-03555 del MICINN-Feder y por el Grupo de Investigación Consolidado A01/2011 del Gobierno de Aragón.

Agradecemos al Comité Aragonés de Agricultura Ecológica (CAAE) la recogida de muestras ecológicas, así como la colaboración de agricultores, cooperativas y empresas aragonesas. E. Ferruz agradece a la Fundación Cuenca Viloro la concesión de una beca de investigación. ■

## Referencias bibliográficas

- Aldred D. y Magan N. (2004). Prevention strategies for trichothecenes. *Toxicol Lett.* 153: 165-171.
- Bernhoft A., Clasen P.-E., Kristoffersen A.B. y Torp M. (2010). Less Fusarium infestation and mycotoxin contamination in organic than in conventional cereals. *Food Additives & Contaminants Part A* 27: 842-852.
- Birzele B., Meier A., Hindorf H., Krämer J. y Dehne H.W. (2002). Epidemiology of Fusarium infection and deoxynivalenol content in winter wheat in the Rhineland, Germany. *Eur J Plant Pathol.* 108: 667-673.
- Delwiche S.R., Pearson T.C. y Brabec D.L. (2005). High-speed optical sorting of soft wheat for reduction of deoxynivalenol. *Plant Dis.* 89: 1214-1219.
- Döll S., Valenta H., Dänicke S. y Flachowsky G. (2002). Fusarium mycotoxins in conventionally and organically grown grain from Thuringia (Germany). *Landbauforschung Völkenrode* 52: 91-96.
- EC (European Commission). 2003. Report on expert participating in SCOOP task 3.2.10. Collection of occurrence data of Fusarium toxins in food and assessment of dietary intake by the population of EU member states. Brussels, Directorate General Health and Consumer Protection.
- Edwards S.G. (2004). Influence of agricultural practices on Fusarium infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. *Toxicol Lett.* 153: 29-35.
- Edwards S.G. (2009). Fusarium mycotoxin content of UK organic and conventional wheat. *Food Additives & Contaminants Part A* 26: 496-506.
- FAO/OMS. (2010). Evaluation of certain food additives and contaminants. Report of the seventy-second meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO Technical Report Series 958.
- FAO/OMS. (2011). Anteproyecto de niveles máximos para el deoxynivalenol (DON) y sus derivados acetilados en los cereales y productos a base de cereales. Comisión del Codex Alimentarius CX/CF 11/5/6.
- FIBL (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau). (2011). Organic and in-conversion agricultural land and farms in the European Union (EU 27). Disponible en: [http://www.organic-europe.net/europe\\_eu/statistics.asp](http://www.organic-europe.net/europe_eu/statistics.asp)
- Gourdain E., Piraux F. y Barrier-Guillot B. (2011). A model combining agronomic and weather factors to predict occurrence of deoxynivalenol in durum wheat kernels. *World Mycotoxin Journal* 4(2): 129-139.
- Herrera M., Juan T., Estopañan G. y Ariño A. (2009). Comparison of deoxynivalenol, ochratoxin A and aflatoxin B1 levels in conventional and organic durum semolina and the effect of milling. *J. Food Nutr. Res.* 48(2): 92-99.
- Langevin F., Eudes F. y Comeau A. (2004). Effect of trichothecenes produced by Fusarium graminearum during Fusarium head blight development in six cereal species. *Eur J Plant Pathol.* 110: 735-746.
- Lori G.A., Sisterna M.N., Haidukowski M. y Rizzo I. (2003). Fusarium graminearum and deoxynivalenol contamination in the durum wheat area of Argentina. *Microbiol Res.* 158: 29-35.
- Mäder P., Hahn D., Dubois D., Gunst L., Alföldi T., Bergmann H., Oehme M., Amadò R., Schneider H., Graf U., Velimirov A., Fließbach A. y Niggli U. (2007). Wheat quality in organic and conventional farming, results of a 21 year field experiment. *J. Sci. Food Agric.* 87: 1826-1835.
- Malmauret L., Parent-Massin D., Hardy J.L. y Venger P. (2002). Contaminants in organic and conventional foodstuffs in France. *Food Addit Contam.* 19: 524-532.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino). (2011). Disponible en: <http://www.mapa.es/en/estadistica/pags/superficie/superficie.htm>
- Menniti A.M., Pancaldi D., Maccaferri M. y Casalini L. (2003). Effect of fungicides on Fusarium head blight and deoxynivalenol content in durum wheat grain. *Eur J Plant Pathol.* 109: 109-115.
- Nisho Z., Takata K., Ito M., Tanio M., Tabiki T., Yamauchi H. y Ban T. (2010). Deoxynivalenol distribution in flour and bran of spring wheat lines with different levels of fusarium head blight resistance. *Plant Dis.* 94: 335-338.
- Prandini A., Sigolo S., Filippi L., Battilani P. y Piva, G. (2008). Review of predictive models for Fusarium head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical Toxicology* 47: 927-931.
- Rasmussen P.H., Ghorbani F. y Berg T. (2003). Deoxynivalenol and other Fusarium toxins in wheat and rye flours on the Danish market. *Food Addit Contam.* 20: 396-404.
- Scudamore K.A. (2008). Fate of fusarium mycotoxins in the cereal industry: recent UK studies. *World Mycotoxin Journal* 1(3): 315-323.
- Visconti A., Haidukowski E.M., Pascale M. y Silvestri M. (2004). Reduction of deoxynivalenol during durum wheat processing and spaghetti cooking. *Toxicol Lett.* 153: 181-189.