

Proyecto: "Desarrollo de un Sistema de Manejo de Calidad de Alimentos para el Control de Micotoxinas en la Cadena de Producción y Procesamiento de Cereales en los países del Cono Sur de América"



Proyecto INCO-DEV
ICA4-CT-2002-10043

Documento Regional: Divulgación de Resultados

Antecedentes

El proyecto MYCOTOX (ICA4-CT-2002-10043) tiene como principal objetivo el desarrollo de un sistema de gestión de calidad de alimentos basado en el control de micotoxinas en la producción y procesamiento de cereales de los países del cono sur americano.

Se trata de un proyecto INCO (*International Scientific Cooperation Project*) destinado a impulsar la coordinación científica entre la Unión Europea y los países del cono sur latinoamericano bajo el quinto programa marco (*5th Framework Programme*).

El consorcio que llevó adelante el proyecto contó con 12 socios. La coordinación científica y administrativa del proyecto estuvo en manos del CIRAD (Francia). Los restantes socios fueron: *Natural Resources Institute* (Reino Unido), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brasil), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil), Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Uruguay), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina), Universidad de Buenos Aires (Argentina), Universidad Nacional de Luján (Argentina), Universidad de Concepción (Chile), Laboratorio Tecnológico del Uruguay (Uruguay) y el Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur.

El proyecto comenzó en 2003 y se extendió hasta 2006.



Contexto e importancia del proyecto

El objetivo central del proyecto es asistir a los países del cono sur americano a mejorar el potencial competitivo de la producción de granos tanto de los destinados al mercado interno como a la exportación. En particular, se analiza la situación del maíz y el trigo, dos granos que en el contexto regional son de suma relevancia productiva y comercial.

Puesto que a nivel internacional la legislación en materia de inocuidad de los alimentos se torna cada vez más restrictiva en cuanto a los niveles de contaminación con micotoxinas (entre otros contaminantes) es que el proyecto cobra particular relevancia.



Mycotox es un proyecto innovador en varios sentidos, pero por sobre todo por plantear una aproximación multi disciplinaria al problema de contaminación de micotoxinas de modo de analizar en conjunto todos los factores que hacen al problema: el desarrollo de métodos analíticos adecuados para resolver la cuantificación de toxinas, la situación de los diferentes actores de la cadena y su conducta frente al problema, así como las condicionantes socio económicas que impulsan la aplicación de medidas de control.

Integra los estudios socio económicos a los estudios técnicos como forma de brindar un contexto sobre el entorno económico y social donde se aplicarán las medidas de control propuestas.

La región sur del continente americano ha sido testigo en varias oportunidades de serios problemas comerciales derivados de la ocurrencia de episodios de contaminación con micotoxinas. Los impactos económicos de estos problemas llevaron a los distintos países a tomar medidas diferentes de control del problema, con diferentes grados de efectividad.

En los hechos, los problemas derivados de la contaminación de trigo y maíz con micotoxinas ya se ha instalado en la agenda pública en Argentina, Brasil, Uruguay y Chile.

Descripción general del proyecto

Mycotox puede dividirse en dos segmentos que apuntan a la solución de problemas concretos que se vinculan entre sí. Un primer bloque de actividades se centra en la solución de problemas llamados “de laboratorio” mientras que un segundo grupo de actividades es el que se desarrolla “a campo”.

Las actividades de laboratorio tienen como objetivo el

homologar los métodos de medición de las diferentes micotoxinas que se analizarán durante la vida del proyecto. Existen distintas formas de medir la ocurrencia de las micotoxinas, por lo que el estandarizar los métodos de medida, dada la heterogeneidad analítica reinante en los países participantes hacen necesario comenzar por equiparar los métodos de medida entre los laboratorios participantes.

Las actividades de campo son aquellas que involucran el proceso de colecta de datos a nivel de campo y dentro de las cadenas agroindustriales seleccionadas para su análisis como forma de determinar los puntos donde se produce la contaminación con micotoxinas y la forma de prevenirla o atenuarla.

El proyecto estuvo dividido en módulos de trabajo (*work packages*), cada uno de los cuales tenía responsabilidades y desafíos particulares. Estos, a su vez, se inter conectan entre si para compartir información. En tal sentido, las actividades “de laboratorio” eran responsables de la medición de la ocurrencia de micotoxinas y parte integral del esfuerzo de determinación de medidas de control.

Objetivos y metodología

El objetivo de mejorar la competitividad de algunas cadenas agroindustriales por la vía de reducir o eliminar la contaminación con micotoxinas es un asunto complejo esencialmente porque implica que se debe conocer en detalle todos los eslabones de la cadena de suministros de ese producto, los agentes causales de la contaminación y los flujos comerciales que son quienes definen el destino final de los productos.

En términos generales, la solución a un problema de contaminación en una cadena de suministro tiene diferentes niveles de acción. La mayoría de las situa-

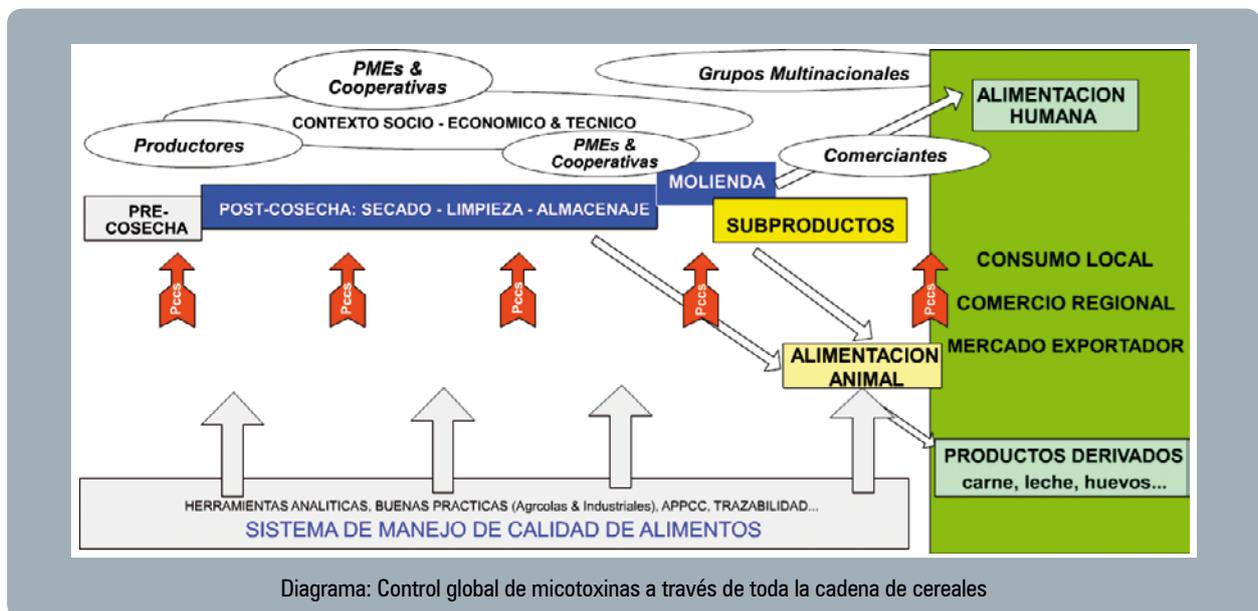


Diagrama: Control global de micotoxinas a través de toda la cadena de cereales

ciones donde se aplican planes de control de contaminación tienen su origen en iniciativas de empresas o grupos empresariales que buscan el control de la calidad en sus suministros. Cuando el mismo problema se analiza a nivel de un país o una región la situación cambia radicalmente por cuanto las soluciones para una empresa pueden no ser adecuadas para el conjunto del sector.

El proyecto Mycotox busca pues conocer la realidad del conjunto de los actores de una cadena de modo de analizar, desde esa perspectiva, la problemática que causa la ocurrencia de contaminación, y el desarrollo de soluciones aplicables a cada contexto particular.

La filosofía que inspira el programa de control es el desarrollo de un plan de Análisis de Riesgo por Puntos Críticos (*Hazard Analysis Critical Control Points, HACCP*). Esta metodología, desarrollada inicialmente en la década de los 60 por Sainsbury & Co para la NASA busca determinar cuales son los puntos de la cadena de suministro que representan posible punto de ingreso de contaminación y las medidas correctivas para la contención del problema en niveles seguros.

Los planes HACCP son de uso corriente en la industria alimentaria, y producto de regulaciones cada vez mas exigentes en los países desarrollados, tienden a abarcar no solo el proceso industrial sino también las materias primas. Para lograr implementar un plan HACCP en una industria, es necesario disponer de Buenas Prácticas de Manufactura, que son la garantía de que el proceso de producción se lleva adelante en forma conveniente. De forma análoga, a nivel de la producción primaria es posible lograr productos de una adecuada calidad desde el punto de vista de la inocuidad mediante el uso de protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas,

que tiendan a minimizar la ocurrencia de contaminaciones en los productos primarios.

En conjunto, los tres protocolos de control, establecen lo que se llama un Sistema de Control de la Calidad en Alimentos (*Food Quality Management System, FQMS*). El desafío de Mycotox era el implementar planes FQMS para las cadenas bajo análisis.

Las cadenas seleccionadas para su análisis tenían su justificación en la ocurrencia de problemas de contaminación detectados en el pasado, y que además representarían un serio problema de competitividad para el desarrollo del sector. Cada país seleccionó un producto y al menos una micotoxina para desarrollar el modelo de análisis. Para el caso de Chile, Argentina y Uruguay el producto a analizar fue el trigo y la toxina DON (deoxinivalenol) mientras que Brasil centró sus esfuerzos en el cultivo del maíz y las micotoxinas Aflatoxina, Zearalenona, Ocratoxina A y Fumonisinas.

Módulos del proyecto

Módulo 1 Desarrollo y estandarización de instrumentos analíticos efectivos para la determinación de micotoxinas en cereales y sub productos.

El objetivo de este módulo era lograr el desarrollo de capacidad analíticas suficientes en la región para el análisis de las micotoxinas. Las actividades de este módulo estuvieron bajo la responsabilidad de la Dra. Tania Correa de Embrapa y luego de su retiro por la Dra. Eugenia Vargas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento.

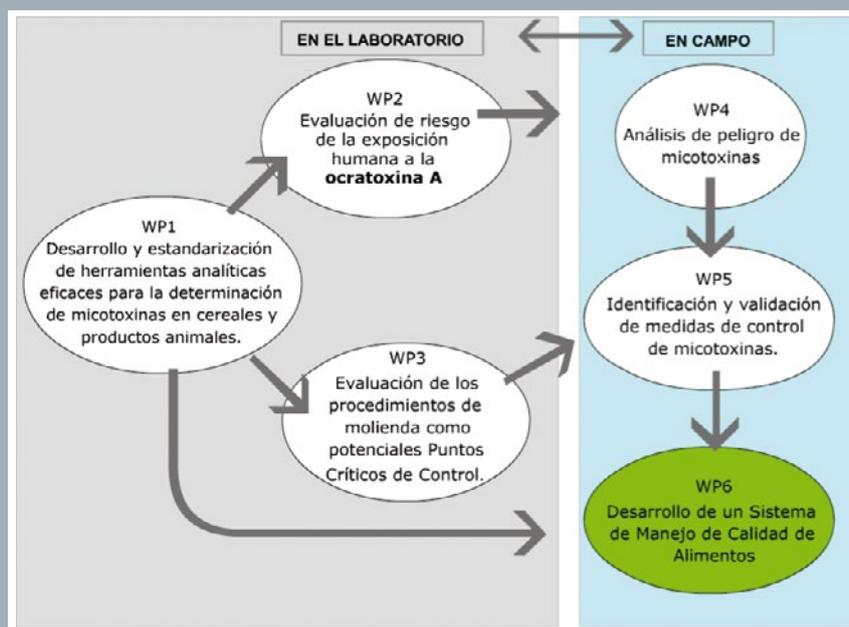
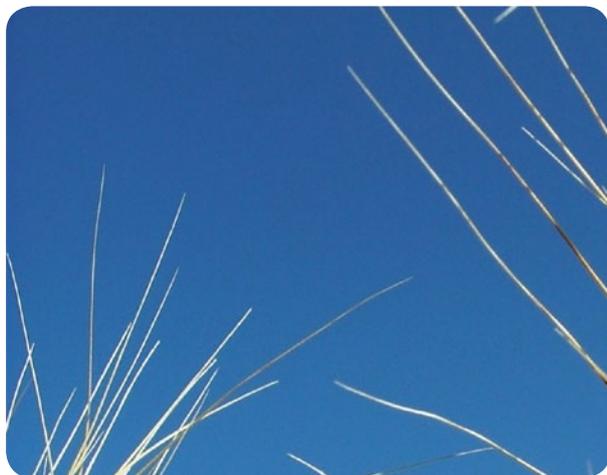


Diagrama: Relación entre Work Packages



La determinación tradicional de micotoxinas realizada mediante el uso de cromatografía requiere de un proceso de calibración adecuado y complica su uso a nivel de campo. Por ello se consideró relevante el dotar a los participantes del proyecto de una metodología que permitiera estandarizar los procesos analíticos.

Las actividades desarrolladas en este módulo se enfocaron en determinar métodos de muestreo y análisis estándar para las diferentes micotoxinas, partiendo de un universo heterogéneo de sistemas de evaluación de toxinas. Se realizaron rondas de comparación de trabajo de los diferentes laboratorios que participaron en el proyecto para determinar su capacidad técnica y dispersión de resultados en relación con un estándar de referencia. Aquellos laboratorios que no lograron alcanzar el mínimo de suficiencia en cuanto a los niveles de detección eran notificados de modo de lograr las correcciones necesarias en sus procesos analíticos.

Las muestras utilizadas para la determinación de micotoxinas fueron de dos orígenes: por un lado se utilizaron materiales adquiridos a tales efectos (FAPAS) que representan estándares de evaluación pero de alto costo y por otro, se desarrollaron capacidades en la región para generar muestras contaminadas para su uso como referencia. Esto permitirá en el futuro el contar con una red de materiales de referencia para la deter-

minación de micotoxinas en base a muestras elaboradas en la región y a un costo accesible en relación a las adquiridas en FAPAS.

Este módulo dispuso también de una línea de trabajo dedicada a la evaluación de métodos alternativos para la determinación de micotoxinas. En tal sentido se exploró la posibilidad de uso de bio marcadores como indicadores de la presencia de micotoxinas.

En particular, el proyecto Mycotox ensayó el uso de la bacteria *Vibrio Fischeri* para la determinación de micotoxinas, siendo pionero en mundo. Esta bacteria tiene la particularidad de emitir luz en condiciones normales de crecimiento, mientras que cuando se expone a ambientes con micotoxinas y / o otros contaminantes decrece la emisión de luz, y de allí se obtiene un indicador del nivel del contaminante.

El fundamento del uso de biomarcadores ya ha sido desarrollado con esta misma bacteria para evaluar la presencia de contaminantes industriales en agua, pero nunca se había ensayado para la detección de micotoxinas. El proyecto fue pionero en el uso de esta bacteria para la determinación de micotoxinas. Los experimentos mostraron una alta replicabilidad pero se requiere de un mayor análisis estadístico para lograr un mejor ajuste en cuanto a la predicción de los niveles de toxinas presentes.

Otra forma no tradicional de evaluación de micotoxinas es el uso de Reflectancia por Infra Rojo Cercano (NIR). El fundamento de esta tecnología es evaluar algunos parámetros químicos del elemento analizado en base a la reflectancia que presenta en ciertos elementos. Esta tecnología es de uso intensivo para la determinación de algunos parámetros de calidad en cereales y oleaginosos pero su uso en la determinación de micotoxinas estaba poco desarrollado. También en este aspecto el proyecto fue pionero en la aplicación de esta técnica.

Las pruebas desarrolladas en base a trigos contaminados, fracciones de molienda y productos elaborados en base a harina de trigo mostraron que se trata de un método rápido y de bajo costo pero que requiere de un intenso proceso de ajuste de correlaciones para la determinación ajustada del nivel de toxinas. Es posible que la complejidad de la matriz donde se encuentra la micotoxina y su interacción en términos de la reflexión del infra rojo cercano sean la causante de las dificultades de cuantificación. De todos modos, el uso de NIR es muy promisorio y permite pensar su uso en determinaciones “gruesas” del nivel de contaminación (alto, medio y bajo).

Finalmente, bajo este módulo se ensayó el uso de un sistema rápido de determinación de micotoxinas llamado Toximet. Este sistema permite una determinación semi cuantitativa de toxinas mediante el uso de

un cartucho que contiene un producto que reacciona ante la presencia de micotoxinas. El cartucho se introduce en un medidor que determina la variación en la emisión de luz UV del cartucho, como indicador del nivel de contaminación. El creador ha presentado dos patentes internacionales sobre el sistema y colaboró con un prototipo de prueba del sistema para su uso en el proyecto. Su uso en el curso del proyecto Mycotox proporcionó buenos resultados en cuanto a la determinación de lotes contaminados.

Módulo 2

Evaluación del riesgo de exposición a Ocratoxina A (OTA) en humanos.

Objetivo: determinar el nivel de riesgo de exposición a Ocratoxina A en humanos en Argentina y Chile. El módulo estuvo bajo la responsabilidad de la Dra. Ana Pacín de la Universidad Nacional de Luján.

A nivel internacional son conocidos algunos estudios que determinaron los niveles de contaminación con OTA en humanos. Sin embargo, a nivel del cono sur de América no se dispone de estudios de base sobre los niveles de contaminación con esta toxina, considerada peligrosa para los humanos.

Para ello, bajo este módulo de trabajo se buscó determinar el nivel de contaminación en humanos de esta toxina, así como evaluar los hábitos de consumo de alimentos de esas poblaciones como forma de determinar la fuente probable de contaminación.

Las determinaciones de OTA se realizaron en base a análisis de suero de voluntarios humanos mediante análisis cromatográfico. Se realizaron los ajustes de la metodología de análisis en base a pruebas en suero de cerdo y suero humano.

Fueron seleccionadas tres poblaciones, dos en Argentina y una en Chile para la determinación, así como el seguimiento de los hábitos alimenticios de las personas evaluadas como forma de determinar cuales son las posibles fuentes de contaminación en la dieta.

En Argentina se generaron 199 muestras en la región de Mar del Plata y 236 muestras en la zona de General Rodríguez. Más del 60% de las muestras de sangre en estas dos zonas fueron positivas para OTA. Los niveles de contaminación tuvieron una mediana de 0,11 y 0,24 ng/ml respectivamente. Es importante destacar que la población de General Rodríguez tiene un mayor promedio de edad y un nivel económico menor que los de la zona de Mar del Plata.

En Chile, se analizaron muestras de la zona centro del país. De las 88 muestras procesadas, 60 fueron positivas para OTA. De las dos localidades analizadas, los niveles de contaminación fueron de 0,44 y 0,77 ppb de toxina.

El paso siguiente en la investigación era el determinar cual era la fuente posible de contaminación en la ingesta de las personas. Para ello se realizaron encuestas sobre los hábitos alimenticios y de consumo de los donantes. De la información obtenida, se sospecha de la principal fuente de OTA en las poblaciones tanto de Argentina como de Chile son los cereales y sus productos derivados. Se descarta el vino como fuente posible de contaminación. Para el caso concreto de Argentina se estima que *Alternaria alternata* es la fuente de OTA principal.



El módulo permitió generar información de base a nivel local referido a los niveles de contaminación con Ocratoxina A, aspecto clave en la determinación de los riesgos a los que se encuentra expuesta la población. Asimismo se generaron las capacidades analíticas necesarias en el marco del proyecto para la determinación en suero humano.

Módulo 3

Evaluación de los diferentes sistemas de molienda como potencial punto de control.

Objetivo: el objetivo de este módulo era la determinación de diferentes sistemas de molienda de maíz y trigo como punto potencial de control de micotoxinas. Estuvo bajo la dirección de la Dra. Silvia Resnik de la Universidad de Buenos Aires.

Los diferentes métodos de molienda de maíz y trigo pueden presentar potencial como puntos de control de micotoxinas. Para ello se analizaron los sistemas de molienda de trigo y maíz en Chile y Argentina.

Se elaboraron los diagramas de flujo de los distintos sistemas de molienda (en Chile se utiliza un proceso de molienda seca de maíz mientras que en Argentina se utiliza un sistema de molienda húmeda) y se evaluaron los efectos de los diferentes sistemas en la distribución de Fumonisinias en maíz y Deoxinivalenol (DON) en trigo.

El primer paso en la determinación fue el desarrollo e implementación de protocolos de muestreo y análisis de DON y Fumonisinias en las diferentes fracciones de la molienda de trigo y maíz. Se desarrollaron protocolos de muestreo en el proceso de molienda, así como un análisis estadístico de los resultados en cuanto a la distribución de ambas toxinas en las diferentes fracciones de molienda.

Los resultados indican que para el caso del maíz se observa una distribución asimétrica de la contaminación en las distintas fracciones de molienda. Es posible considerar la posibilidad de utilizar el proceso de molienda como un punto de control eficiente, en particular mediante un mejor proceso de secado de grano y un doble tamizado del grano previo al ingreso al proceso de molienda en Argentina. Dadas las características de las toxinas involucradas en el caso del maíz, es posible que los niveles de la misma se reduzcan en el proceso de descomposición del grano en el proceso de molienda y/o que se diluyan en el caso de molienda húmeda. Por esta razón, en la medida que avanza el proceso de molienda la frecuencia de contaminación es cada vez menor, y permite el uso de la molienda como sistema de control de la toxina, incluso mediante la determinación de usos industriales posteriores donde el nivel de contaminación no representa un problema por las características del producto en si mismo.

Para el caso de trigo se observa algo diferente al maíz en cuanto a la distribución de la toxina DON en las diferentes fracciones de molienda, donde hay una importante asimetría. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en maíz es mas compleja la distribución de la toxina en el grano y sus sub productos. Esto puede deberse a las características del hongo involucrado en la toxina y a la propia morfología del grano. Ni el remojado ni la molienda permitieron lograr un punto de control eficiente de la toxina DON.

En este sentido se realizaron ensayos de evaluación de las diferentes fracciones de molienda. Para ello se realizaron pruebas con fracciones de molienda de trigo uruguayo contaminado y se contaminaron lotes de trigo durum francés para evaluar los resultados de la distribución de la toxina en las distintas etapas de la molienda del grano.

Los resultados indican que para un mismo grado de contaminación todas las fracciones muestran restos de toxina, incluso las más interiores en el grano, aunque con mayor intensidad en las capas exteriores. Esto indicaría que durante el proceso de desarrollo del hongo que causa la toxina, su desarrollo afecta tanto las capas exteriores como las interiores y que el proceso abrasivo de la molienda no logra una destrucción de la toxina.

Por ello, la molienda de grano contaminado en todo el proceso que implica la llegada del grano al molino

y su procesamiento no logra controlar efectivamente la toxina por si mismo y por ello no se lo recomienda como un punto de control

Dentro de este módulo se analizó además el efecto de la cocción mediante la fritura de un alimento de consumo masivo como lo son las empanadas en Argentina. Los estudios determinaron que el proceso de fritado de las empanadas reduce el nivel de contaminación con DON entre un 20 y un 28%.

La diferencia en cuanto al nivel de reducción de contaminación está vinculado a la temperatura del aceite (siendo mayor la reducción cuando la cocción se realiza en aceite a menor temperatura). Estos resultados son significativos por cuanto implica una forma de atenuación del contenido de toxinas en un alimento de consumo masivo y que forma parte integral de la dieta de vastos sectores de la sociedad argentina, en especial de aquellos sectores de menores ingresos.

Módulo 4

Análisis de riesgos de micotoxinas.

Objetivo: identificar aquellas combinaciones de productos/toxinas que presenten niveles inaceptables de riesgo para la salud humana y/o que se muestren restrictivas al comercio. Construir y verificar un diagrama de flujo de un producto básico para su validación en el terreno con los actores de la cadena. Este módulo estuvo bajo la dirección del Dr. Ray Coker del *Natural Resources Institute*.

La contaminación con micotoxinas de un producto básico es solamente una parte del problema. La determinación de su origen, que la causa, como llega a los productos finales y por ende, se transforma en un riesgo para la salud humana o animal es la otra parte del proceso. Para analizar estos factores, es que este módulo de trabajo desarrolló una metodología para determinar no solamente el origen del problema sino también cuales son los factores de contexto que permiten que el producto contaminado llegue al consumidor final.

El primer paso en este desarrollo es la conformación de un equipo HACCP (Análisis de Puntos Críticos de Control) por cada país. La metodología HACCP busca determinar los puntos donde ocurre la contaminación que pueden transformarse en puntos de control del proceso, junto con las medidas correctivas necesarias para llevar los niveles de contaminación a niveles aceptables. Cada país participante en el proyecto establecía su propio grupo de expertos, generalmente conformado por especialistas en las diferentes áreas: HACCP, fitopatología y micotoxinas, determinaciones analíticas, socio economista y agrónomo de campo. De este modo era posible conocer todo el contexto de

producción del producto en cuestión para determinar las causas de la contaminación.

La segunda etapa de este proceso fue la búsqueda a nivel bibliográfico de las referencias en cada país de los productos que presentaran información sobre contaminación con micotoxinas. Estas referencias fueron obtenidas tanto de referencias públicas como basadas en consulta con los diferentes actores agroindustriales involucrados.

De acuerdo con esta información se seleccionó para cada país una combinación de producto y micotoxina a ser analizada durante la vida del proyecto. En el caso de Uruguay, Argentina y Chile la cadena seleccionada fue la de trigo (como producto) y deoxinivalenol (DON) como toxina, con el riesgo de exposición vinculado al consumo humano. En el caso de Brasil el producto seleccionado fue el maíz y las toxinas evaluadas fueron Aflatoxina, Ocratoxina A, Fumonisina, DON y Zealenona, en grano destinado a la alimentación de pollos.

Cabe señalar que para el caso de aquellos países que seleccionaron trigo como grano, Argentina y Uruguay contaban con presencia de los hongos causantes de la contaminación en forma recurrente mientras que Chile no había detectado aún el problema. Esta situación obedece a las diferentes condiciones agro climáticas imperantes en los tres países que lleva a que en el caso Chileno, sea más difícil la ocurrencia de la contaminación con los hongos causantes de la toxina DON.

El siguiente paso era lograr vincular a los diferentes actores integrantes de la cadena agroindustrial en cada país, para de este modo poder validar los resultados del proyecto en conjunto con ellos. Debe recordarse que el proyecto se había impuesto la meta de lograr que sus recomendaciones, además de la solvencia técnica que implican, fueran aplicables al contexto donde se desarrollaba el problema de contaminación, y eso requiere necesariamente de la participación de los diferentes actores.

En conjunto con los especialistas del plan HACCP y los actores que brindaron su colaboración se desarrolló un diagrama de flujo del producto a nivel nacional. Se incorporaron todas las etapas del proceso productivo desde los insumos utilizados para la producción del grano a nivel de campo hasta los productos finales, pasando por las etapas de cosecha, transporte y logística, molienda y uso final de los productos.

Con la información anterior se puede establecer cuales son las fuentes de contaminación para cada producto y los posibles puntos de control para reducir la incidencia de contaminación. Es importante aclarar que no todas las micotoxinas analizadas tienen su origen a nivel de campo, sino que son el producto de prácti-

cas inadecuadas de conservación en algún punto de su proceso industrial. Es por esta razón que es necesario determinar cuales son los puntos de control donde se deben realizar los monitoreos y donde deben tomarse las acciones correctivas para lograr productos de una calidad aceptable.

Basada en la información anterior, se validaron en conjunto los diagramas de flujo para cada producto y cada micotoxina al tiempo que se determinarían los puntos críticos de control para cada caso en particular, tomando en cuenta las particularidades de cada país en cuanto al destino de los productos a utilizar.

Asimismo, se diseñó un programa de muestreo de micotoxinas a nivel de toda la cadena, en colaboración con los diferentes actores, de modo de establecer un programa de monitoreo de micotoxinas durante toda la duración del proyecto. Los responsables de la medición de los niveles de toxinas eran los mismos laboratorios que participaron en el módulo 1, y que ajustaron su metodología de trabajo a un estándar analítico común.

Módulo 5

Identificación y validación de las medidas de control de micotoxinas.

Objetivos: Desarrollar y validar medidas de control. Evaluación del ambiente económico, social y cultural derivado de la aplicación de los puntos críticos de control. Contribuir al uso de buenas prácticas como forma de control y etapa previa a la implementación de un plan HACCP.

Puesto que la aplicación de un plan de control basado en puntos críticos de control suele realizarse para casos puntuales, como por ejemplo un proceso productivo determinado (en una fábrica determinada) su extrapolación a un contexto más amplio, como puede ser toda una cadena agroindustrial representa un desafío importante desde el punto de vista técnico. Por esta razón, la capacidad de aplicar medidas correctivas no solo depende de su factibilidad técnica sino también de un adecuado conocimiento del ambiente donde se desarrolla esa actividad en términos económicos, sociales y culturales para dar un mejor marco de aplicación a las distintas formas de control desarrolladas.

Para ello se evaluaron y testearon diferentes medidas de control de micotoxinas en las cadenas seleccionadas para mitigar el impacto de la contaminación. En el caso del trigo y DON como toxina, puesto que la contaminación se produce por un hongo en el campo, durante el ciclo del cultivo, el grueso de las medidas de control apuntan al manejo en esta etapa, como forma de prevenir la ocurrencia de niveles críticos de contaminación. Sin embargo, dadas las características de producción diferenciales de cada país, y los antece-

dentos en cuanto a contaminaciones ocurridas en el pasado las medidas de control son diferentes.

En el caso del Chile, los esfuerzos se centraron en la selección de variedades como punto de control. La elección de variedades con menor susceptibilidad al hongo causante de la enfermedad (*Fusarium*), junto con el desarrollo de un conjunto de buenas prácticas agrícolas (esencialmente centradas en el manejo de los rastrojos del cultivo anterior) fueron las variables claves para manejar el problema de contaminación con DON en trigo. Cabe señalar que para el caso de Chile, el equipo de trabajo debió analizar situaciones productivas diferentes a las originalmente indicadas ya que no lograban encontrar trigos contaminados, debiendo desplazar su zona de estudio al norte del país.

La situación en Argentina y Uruguay era diferente, partiendo del hecho que ambos países habían experimentado en el pasado eventos de contaminación con DON en trigo con distintos grados de severidad. Para Uruguay, dada la concentración de la producción en una zona relativamente reducida en términos geográficos, los resultados fueron particularmente devastadores en las campañas 2001 y 2002.

Al igual que en el caso de Chile, el esfuerzo para la reducción de la contaminación se ubica en la producción primaria. En Uruguay, habida cuenta de los perjuicios causados por la contaminación con *Fusarium* en los años 2001 y 2002, se contó con el apoyo de FAO en una consultoría que realizó una serie de recomendaciones sobre las cuales el proyecto Mycotox pudo apoyarse, en especial el desarrollo de un modelo climático de predicción de contaminación con fusarium (Doncast). Este modelo de predicción fue de especial interés para el equipo argentino.

Para Uruguay, las recomendaciones se centraron en el adelantamiento de la fecha de cosecha como medida de control, mientras que en el caso de Argentina, se lograron avances en determinar en forma ajustada el porcentaje de infección con *Fusarium* y el contenido de DON, a lo que se asocia el uso de modelos climáticos para la toma de decisiones.

Para el caso de Brasil, donde se evaluaban toxinas en maíz y su efecto en la ración para la alimentación de pollos, el cambio en los procedimientos de secado y el doble tamizado del grano previo a la entrada al proceso de molienda fueron definidos como las mejores prácticas para la reducción de fumonisinas y aflatoxinas. Asimismo, la aplicación de absorbentes de micotoxinas fue ensayado con éxito durante el proyecto como otra forma de reducir los niveles de contaminación.

Otro aspecto innovador del proyecto fue la incorporación del análisis socio económico al contexto productivo y comercial de las cadenas agroindustriales seleccionadas. Puesto que la factibilidad de aplicación

de las medidas de control requieren no solamente de una factibilidad técnica sino también socio económica es que el proyecto incorporó esta forma de análisis desde dos perspectivas: por un lado la determinación de las causas por las cuales no se aplicaban medidas de control a nivel privado y era recurrente la necesidad de aplicación de medidas de política pública para resolver el problema, y por otro cual era la propensión a pagar por calidad certificada en productos definidos como libres de micotoxinas por parte de los consumidores.

El enfoque utilizado para este análisis fue la Nueva Economía Institucional (*New Institutional Economics*). Bajo este enfoque, la clave de la conducta estratégica del sector está en la forma en que se gobiernan las transacciones de productos entre los agentes, que admiten varias formas posibles desde simples acuerdos de palabra sin mayores controles a contratos legalmente establecidos. En términos globales lo que se busca es proteger los activos específicos mediante contratos como forma de proteger el valor específico del producto. Sin embargo, los factores que llevan a la composición de ciertos arreglos contractuales no solo depende de la voluntad de las partes sino de las especificidades del activo en si mismo sujeto de transacción.

La metodología de trabajo utilizada permitió que el conjunto de socio economistas trabajara bajo un patrón de trabajo estándar, luego replicable en cada país a lo que se sumaron estudios específicos en la medida que fuera posible la generación de información particular para estudios puntuales.

En términos generales, en Argentina, Uruguay y Chile se destaca que los sistemas de comercialización existentes a nivel primario son pobres en cuanto a una adecuada señalización de la calidad "hacia atrás" en la cadena y que sean por tanto adecuados para la transmisión de señales claras hacia los productores en cuanto a la incorporación de prácticas particulares que reduzcan los niveles de contaminación. En particular, la ausencia de premios claros en el precio del producto impiden la aplicación de medidas concretas que actúen como estímulos para cambios en la fase primaria.

A nivel de los estudios particulares, en Argentina se realizó un análisis de los beneficios y costos de implementar un sistema de Gerenciamiento de Calidad de productos (*Quality Management System*) a nivel de empresas agropecuarias. Los resultados indicaron que dada la pobre señalización de la calidad como conjunto en el caso analizado, la aplicación de estos sistemas permanecerá esporádico y sujeto más a la voluntad de progreso o visión empresarial que a una demanda concreta por parte de los consumidores de ese producto.

En Uruguay en tanto se buscó determinar la propensión a pagar por productos panificados certificados como libres de micotoxinas. Como fuera mencionado,

en Uruguay existieron dos eventos significativos de contaminación con la toxina DON, por lo que existió una importante cobertura de prensa de tal evento y la población tenía un cierto grado de conocimiento sobre el tema.

Se realizó una evaluación de la propensión a pagar por productos certificados como libres de micotoxinas. En este sentido se determinó que a nivel de los consumidores uruguayos existe la propensión a pagar hasta un 25% más del precio de mercado por productos panificados certificados como libres de micotoxinas. Al igual que la introducción del análisis socio económico en general al estudio del problema, esta investigación fue pionera en su disciplina en la región y abre la posibilidad a los actores de las distintas cadenas a explorar el camino de la señalización vía certificación privada en inocuidad de alimentos.

En Chile se evaluó el impacto de aplicación de sistemas de gestión de la calidad ISO a nivel de la industria que procesaba trigo, en un estudio de casos vinculado a la alimentación de salmón para exportación. El objetivo inicial (compartido con otros países) era el determinar si era posible realizar un análisis sobre las causas, costos y beneficios de incorporar sistemas de gestión de calidad del tipo ISO 9001 y luego ISO 22000 a una cadena determinada. El caso de Chile fue el único del conjunto de países que analizaba la situación del trigo en la región que logró reunir la información suficiente para considerar el caso a nivel de una sub cadena muy particular.

Asimismo se elaboró en forma conjunta entre los países que compartían una misma cadena de suministro manuales para la implementación de buenas prácticas a nivel de la producción primaria e industrial (Buenas Prácticas Agrícolas para la producción primaria y Buenas Prácticas de Manufactura para el sector industrial). Estos manuales tienen como objetivo el difundir un conjunto de medidas que forman parte integral de un plan de control de micotoxinas, pero que no necesariamente son parte del plan HACCP sino más bien un pre requisito para su existencia. Argentina, Chile y Uruguay elaboraron sus respectivos manuales para trigo mientras que Brasil hizo lo propio para el caso de maíz.

En conjunto, este módulo de trabajo logró desarrollar las capacidades necesarias para plantear a nivel de cada país una estructura que permita el manejo de la contaminación con micotoxinas en los casos seleccionados mediante la validación con los actores de medidas concretas que apuntan a la reducción de la contaminación a niveles aceptables.

Además, la definición de medidas de control fueron el producto del análisis técnico derivado de la toxina a controlar pero tomando en cuenta las particularidades del entorno de negocios donde se desarrollaba

la producción. Finalmente, la difusión de manuales de Buenas Prácticas actúa como un complemento de la aproximación de control por puntos críticos antes mencionada.

La mayor innovación que aporta el proyecto a este nivel es el considerar al conjunto de la cadena a nivel de un país o una región y no solamente a nivel de una industria como foco de la investigación.

Módulo 6

Desarrollo de un sistema de gestión de la calidad en alimentos para la prevención y control de micotoxinas.

Objetivo: Desarrollar e implementar un sistema eficiente de gestión de la calidad de alimentos para maíz y trigo en cuanto a la calidad (micotoxinas). El módulo estuvo bajo la dirección del Dr Marcelo Massana de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

El desarrollo de un sistema de gestión de calidad para micotoxinas FQMS implica el disponer de todos los medios para el control exitoso de la calidad del producto enfocado. En este caso, el foco de control se centra en la inocuidad del producto, esencialmente la contaminación con micotoxinas, pero dado el alcance del sistema permite su aplicación a otros contaminantes.

Entre los pre requisitos para la implementación de un plan de gestión en el control de la calidad se encuentra el disponer de un plan HACCP para el producto y el contaminante en cuestión, un protocolo de buenas prácticas a nivel primario e industrial.

Los productos de los módulos anteriores fueron actuando de insumo para el desarrollo del producto final que toma cuerpo en la elaboración de un plan de acción para el control de las micotoxinas que se adapta a la realidad de cada país. Se obtiene, como producto final, un Sistema de Gestión de Calidad con énfasis en micotoxinas de aplicación concreta en cada país que luego se valida con los actores de la cadena para su difusión e implementación. En este sentido Mycotox logró responder al desafío de ser innovador en cuanto a la aproximación para resolver el problema y brindar soluciones concretas para cada uno de los desafíos planteados.

Finalmente, cabe una mención especial a la difusión de los productos del proyecto. Mycotox logró a lo largo de su ciclo de vida una importante producción científica que se complementa con el papel de difusión a nivel de los actores locales liderada por PROCISUR. El esfuerzo de involucrar a los actores mediante su participación en las reuniones del proyecto fue un factor clave en lograr los resultados deseados en términos de impacto.

La producción científica incluyó 14 publicaciones científicas en revistas arbitradas y 12 en curso de preparación al momento de elevar el informe final de actuación. Se incluyen además 6 capítulos de libros, 30 presentaciones orales en congresos, 42 posters en congresos, 6 patentes, 6 talleres de formación y discusión, 17 reuniones sectoriales con actores a distinto nivel, 17 presentaciones públicas de los resultados y objetivos del proyecto y 3 cursos de formación profesional que involucraron a 22 profesionales a distinto nivel técnico.

Conclusiones

El proyecto Micotox logró alcanzar todos sus objetivos, finalizando con la elaboración de propuestas concretas para resolver el problema de la contaminación con micotoxinas en la producción de maíz y trigo del cono sur. Actuó asimismo como catalizador en líneas de investigación pioneras como lo son el uso de bio marcadores para la determinación de niveles de contaminación y/o el uso de Reflectancia de Infra Rojo Cercano para la determinación rápida de niveles de contaminación.

Se generaron capacidades locales de detección y muestras de referencia para una adecuada medición de la presencia de micotoxinas y se establecieron sistemas estandarizados de muestreo de productos para los programas de monitoreo, que pueden actuar como un sistema de alerta temprana para la determinación de eventuales problemas ante la ocurrencia de situaciones problema.

Se elaboraron y validaron programas de control por puntos críticos, manuales de buenas prácticas de producción agrícola y manufactura, que en conjunto permiten el desarrollo de un plan de gestión de la calidad enfocado en micotoxinas. Asimismo, las soluciones técnicas planteadas para este plan atienden al contexto socio económico y cultural bajo el cual se desarrollan, lo cual facilita su incorporación.

Finalmente, el proyecto generó información innovadora a nivel científico y permitió validar nuevos instrumentos para resolver el problema de la contaminación con micotoxinas en cereales.

Convergencias y divergencias de los resultados de los países y su impacto en la región

Para determinar convergencias y divergencias en cuanto a los resultados del proyecto cabe realizar una primera división en cuanto a las realidades diferentes que presentaban los países que participaron en el proyecto. Por tal motivo se analizarán por separado en función de la combinación producto/micotoxina seleccionado.

Es importante destacar que el proyecto buscó lograr el mayor impacto posible en términos de resolver el problema de la contaminación con micotoxinas, sus causas y evaluar sus efectos. Por tal razón se realizaron esfuerzos por potenciar las capacidades de los equipos locales en cuanto al acceso de la información y una relación de costo adecuada para la generación de datos acorde al presupuesto del proyecto. En todo momento se hizo el mayor esfuerzo posible por lograr la mayor representatividad posible en los resultados a pesar de generarse información en países diferentes.

El punto de mayor convergencia de los tres países se centra en el uso del instrumento para el control de micotoxinas, común a todos los casos, que es la implementación de un plan HACCP (Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control) y la complementación de programas de Buenas Prácticas de Producción y Manufactura como complemento del mismo.

Brasil

El caso de Brasil es el más simple, por cuanto, no plantea conflictos en cuanto a los resultados esperados. La selección del producto y la micotoxina es derivado del alto peso relativo que tiene la producción de maíz para alimentación animal, especialmente en el caso de la industria avícola.

En Brasil, existen las condiciones ambientales, así como la presencia de los agentes causales de las micotoxinas analizadas. El problema de contaminación es conocido, así como las posibles soluciones a aplicar. La legislación local establece límites para el nivel de micotoxinas presentes en el grano para los distintos usos. Sin embargo, es importante destacar que por tratarse de un producto destinado a la alimentación animal (y no al consumo humano como el resto de las micotoxinas analizadas en los restantes países participantes del proyecto), los impactos se reducen a una pérdida de eficiencia por el uso de un insumo contaminado y no de un problema de salud pública.

Por lo tanto, en el caso de Brasil, no se plantearon divergencias mayores por el producto y las micotoxinas seleccionadas. A pesar de haberse encontrado micotoxinas durante el desarrollo del proyecto, los niveles de las mismas siempre estuvieron dentro del rango de tolerancia establecido por las normas tanto locales como regionales.

Argentina, Uruguay y Chile

Los tres países seleccionaron la misma combinación de micotoxina y producto, aunque presentan situaciones productivas claramente diferentes. Argentina y Uruguay tienen similares sistemas de producción y condiciones agro climáticas, mientras que Chile enfrenta una situación productiva diferente. En base a

ello, es razonable suponer que países con similares condiciones, enfrenten problemas (y soluciones) similares.

Argentina y Uruguay han experimentado en sucesivas oportunidades epidemias de *Fusarium*, así como problemas de contaminación con micotoxinas. Sin embargo, las respuestas a tales eventos han sido diferentes, en parte por la estructura productiva y comercial que ambos países enfrentan.

Argentina, por su papel preponderante en el comercio mundial de trigo, enfrenta una demanda por trigo de calidad que sea aceptada en el mercado internacional, sin embargo, la demanda de entregar trigo libre de micotoxinas solo se requiere cuando existen evidencias de daño por *Fusarium*.

A nivel del mercado interno la situación es diferente. Existe un estándar de comercialización interno que incluye al *Fusarium* como parte de lo que se denomina “cuerpos extraños” pero que se admite en el recibo. Sin embargo, la industria molinera argentina en ocasiones demanda mayores garantías e incorpora el nivel de contaminación de *Fusarium* como un parámetro de calidad en el grano previo a su aceptación en el molino. Argentina no cuenta con una norma obligatoria que determine niveles de *Fusarium* máximo en grano ni tampoco de toxina DON en el grano o sub productos.

En el caso de Uruguay, la situación es diferente. El grueso del trigo se destina hacia el mercado interno donde no existe un estándar de comercialización oficial obligatorio. Sin embargo, dada la severidad de los ataques de *Fusarium* y el problema de contaminación presente, Uruguay estableció un estándar de contaminación máxima permitido en harina de trigo y productos elaborados.

En términos de convergencias de resultados, Uruguay y Argentina comparten un problema de señalización de la calidad desde la industria molinera hacia atrás en la cadena. Esto lleva a que prácticamente el único camino de intervención posible para un control efectivo sea la intervención del estado como agente de control de la inocuidad en trigo. Esta situación tiende a cambiar en la medida que existe una demanda establecida de inocuidad por parte de la exportación, de gran relevancia para Argentina y de importancia creciente para Uruguay, en la medida que aumenta su inserción internacional.

Un segundo grupo de convergencias se relaciona a las estrategias de control. Ambos países ven en el sistema HACCP un método eficiente para el control del problema, asociado al uso de buenas prácticas tanto en la producción agrícola como en la industrial.

En ambos casos existe una gran heterogeneidad en el sector industrial (tanto molinero como de elabora-

ción de productos). Las estrategias de los organismos de investigación son también similares, aunque con matices en cuanto a la intensidad de sus diferentes componentes. Así, por ejemplo en Argentina la selección de semillas con mayor resistencia a la enfermedad y el manejo de los rastrosos son los ejes centrales de los planes de mediano plazo de gestión del problema, y en Uruguay es el ajustar las estrategias de control químico y fecha de cosecha como forma de reducir el problema.

El caso de Chile es similar a Argentina por cuanto dispone de un estándar de comercialización en vigor y la ausencia de controles de micotoxinas en productos elaborados. Las causas de esta situación obedecen a la ausencia de condiciones climáticas necesarias para el desarrollo de los hongos causantes de micotoxinas y también a las prácticas de manejo que conllevan un menor riesgo de aparición de problemas en micotoxinas.

En cuanto a las divergencias, las mismas se circunscriben más el hecho de que los distintos países enfrentan situaciones productivas y comerciales diferentes que conllevan a la aplicación de soluciones distintas para un mismo problema. Mientras que en Chile la industria molinera transita por el camino de la incorporación de normas de calidad en sus procesos, esta conducta no se observa en Argentina y Uruguay, aunque en términos comunes la señalización de la calidad en lo referido a la inocuidad de micotoxinas es similar ya que se las reconoce como un problema.

En suma, las convergencias se observan por el uso común de una herramienta de prevención y control, que opera en situaciones productivas e institucionales diferentes, mientras que el grueso de las divergencias se observan en el foco de análisis del problema a nivel de cada realidad; en Chile el problema en trigo es prácticamente inexistente mientras que en Argentina y Uruguay se trata de un problema relevante y de fuerte impacto en la producción, al que se lo ataca desde diferentes ángulos, en función de la realidad productiva de cada país.

El impacto en la región del proyecto tiene varios niveles posibles de análisis. Existe un primer nivel de impacto que se vincula con el desarrollo de capacidades analíticas para la determinación de problemas de contaminación y elaboración de materiales de referencia que es de suma importancia para la zona, dadas las dificultades en cuanto a la estandarización de métodos cuantitativos.

Una segunda fuente de impacto es aquella relacionada con la generación de información de base sobre niveles de contaminación con ciertas micotoxinas (OTA) en humanos, y sus posibles fuentes en la dieta. Estos estudios, además de evidenciar el problema y cuantificarlo son la base de diagnóstico de un problema de

salud pública, para el cual se deben tomar medidas de control.

Finalmente, la elaboración de planes de gestión de la calidad basados en la filosofía de los análisis de riesgo y puntos críticos de control si bien logra definir los aspectos sobre los cuales es posible una intervención para el caso de las micotoxinas, no solo se restringe a ellas.

La aplicación de esta metodología es válida para el entorno donde fuera elaborada (en base a estudios de casos y con la participación activa de los interesados) pero su extrapolación a nivel nacional o regional requiere de la complementación con otros instrumentos. Esto queda en evidencia en base a los estudios realizados en los distintos países donde se destaca en todos los casos (con excepción de Brasil) que existe una dificultad en la señalización de la calidad a nivel primario en lo que refiere a micotoxinas y a la calidad del grano en general.

Esto lleva a que la definición de calidad del producto, un aspecto difuso porque es siempre relativo al destino final del mismo, debe analizarse en profundidad y asociado a las causas que conllevan a que exista un pobre relacionamiento entre distintos eslabones de la cadena de suministro.

El proyecto fue exitoso en cuanto logró integrar todos los elementos necesarios para la implementación de estrategias de control de micotoxinas que fueran viables desde un punto de vista técnico y socio económico para la realidad de cada país donde se desarrollaron actividades. La sensibilización de los actores fue un aspecto destacado, mas allá que los resultados en términos de medidas posteriores concretas es un deber para varios países.

Anexo: Quien es quien en las micotoxinas

Según la FAO, existen varias micotoxinas peligrosas para el hombre y los animales. A continuación presentamos un breve reseña informativa de algunas de ellas:

Aflatoxinas

El término “aflatoxinas” fue acuñado a comienzos del decenio de 1960, cuando miles de pavos, patos y otros animales domésticos murieron a causa de una enfermedad (conocida como “enfermedad X de los pavos”) que se atribuyó a la presencia de toxinas de *A. flavus* en harina de maní importada de Sudamérica (Austwick, 1978).

Aunque las aflatoxinas son las principales toxinas relacionadas con esta micotoxicosis, se ha determinado (Bradburn *et al.*, 1994) la intervención de otra micotoxina, el ácido ciclopiazónico en la etiología de la “enfermedad X de los pavos”). También están bien

documentados los efectos crónicos de concentraciones bajas (partes por mil millones) de aflatoxinas en la alimentación del ganado (Coker, 1997), como son la disminución de la productividad y el aumento de la susceptibilidad a enfermedades.

Los mohos productores de aflatoxinas están muy extendidos por todo el mundo, en climas templados, subtropicales y tropicales, y pueden producir aflatoxinas, tanto antes como después de la cosecha, en numerosos alimentos y piensos, especialmente semillas oleaginosas, nueces comestibles y cereales (Coker, 97).

Aunque las aflatoxinas están relacionadas predominantemente con productos de origen subtropical y tropical, se ha comunicado también su presencia (Pettersson *et al.*, 1989) en climas templados en cereales tratados con ácidos.

La aflatoxina B1 es cancerígena para el hombre (IARC, 1993a) y es uno de los agentes causantes de cáncer de hígado más potentes que se conocen. También han fallecido personas (Krishnamachari *et al.*, 1975) a causa de intoxicación aguda por aflatoxinas en la India (en 1974), por ejemplo, cuando las lluvias intempestivas y la escasez de alimentos impulsaron el consumo de maíz muy contaminado. Si la acción inmunodepresora de las aflatoxinas en el ganado se manifiesta de forma similar en las personas, es posible que las aflatoxinas (y otras micotoxinas) desempeñen un papel importante en la etiología de las enfermedades que sufre la población en algunos países en desarrollo en los que se ha comunicado una alta exposición a estas toxinas.

Lubulwa y Davis (1994) han estudiado las pérdidas económicas atribuibles únicamente a la presencia de aflatoxinas, en maíz y maní, en países de Asia sudoriental (Tailandia, Indonesia y Filipinas), llegando a la conclusión de que alrededor del 66% de las pérdidas totales se debían al maíz contaminado, y las pérdidas atribuibles al deterioro y a los efectos dañinos sobre la salud de las personas y de los animales representaban, respectivamente, el 24, el 60 y el 16% del total. No obstante, el estudio tuvo en cuenta únicamente las pérdidas relacionadas con la morbilidad y las muertes prematuras ocasionadas por el cáncer.

En consecuencia, es probable que las pérdidas relacionadas con las aflatoxinas sean mucho mayores si se incluyen las otras consecuencias para la salud humana del efecto inmunotóxico de las aflatoxinas (y otras micotoxinas).

Tricotecenos

La toxina T-2 y el desoxinivalenol pertenecen a un amplio grupo de sesquiterpenos, relacionados desde el punto de vista estructural, que se conocen como “tricotecenos”.

La toxina T-2 se produce en cereales en muchas partes del mundo y está relacionada en particular con períodos prolongados de tiempo lluvioso durante la cosecha. Es probablemente la causa de la “aleucia tóxica alimentaria” (ATA), enfermedad (IARC, 1993b) que afectó a miles de personas en Siberia durante la segunda guerra mundial, ocasionando la aniquilación de pueblos enteros. Los síntomas de la ATA comprenden fiebre, vómitos, inflamación aguda del aparato digestivo y diversas alteraciones sanguíneas. La toxina T-2 ha causado brotes de enfermedad hemorrágica en animales y está relacionada con la formación de lesiones bucales y efectos neurotóxicos en aves de corral.

El efecto más importante de la toxina T-2 (y de otros tricotecenos) es su actividad inmunodepresora, que se ha demostrado claramente en animales de experimentación y que probablemente está relacionado con el efecto inhibitorio de la biosíntesis de macromoléculas de esta toxina. Hay escasas pruebas de la carcinogenicidad de la toxina T-2 en estudios con animales de experimentación.

El deoxinivalenol (DON), que es probablemente la micotoxina de *Fusarium* más corriente, contamina diversos cereales, especialmente maíz y trigo, tanto en países desarrollados como en desarrollo. Debido a los brotes de síndromes eméticos (y de rechazo a los alimentos) en el ganado ocasionados por la presencia de DON en los piensos, esta micotoxina se conoce vulgarmente como vomitoxina.

La ingestión de DON ha ocasionado brotes (IARC, 1993c; Bhat *et al.*, 1989; Luo, 1988) de micotoxicosis agudas en la población de la India, China y zonas rurales del Japón. El brote surgido en China en 1984-85 se debió al consumo de maíz y trigo mohosos; en un plazo de entre cinco y treinta minutos aparecían síntomas como náuseas, vómitos, dolores abdominales, diarrea, mareos y cefaleas.

Hasta la fecha, sólo se han detectado en el Japón cepas de *F. graminearum* productoras de nivalenol en arroz y otros cereales, que se han relacionado con casos de la “enfermedad del moho rojo” (“akakabi-byo”). Los síntomas comprenden anorexia, náuseas, vómitos, cefalea, dolor abdominal, diarrea y convulsiones (Marasas *et al.*, 1984).

Zearalenona

La zearalenona es una micotoxina estrogénica de distribución amplia, presente principalmente en el maíz, en bajas concentraciones, en Norteamérica, Japón y Europa. Sin embargo, pueden encontrarse concentraciones altas en países en desarrollo, especialmente donde se cultiva maíz en climas más templados, por ejemplo en regiones de tierras altas.

F. graminearum produce zearalenona junto con deoxinivalenol y se ha señalado la posible relación de ambas sustancias con brotes de micotoxicosis agudas en personas. La exposición a maíz contaminado con zearalenona ha ocasionado (Udagawa, 1988) hiperestrogenismo en animales, especialmente cerdos, caracterizado por vulvovaginitis y mamicis e infertilidad. En estudios con animales de experimentación se han obtenido pocas pruebas de la carcinogenicidad de la zearalenona.

Fumonisin

Las fumonisin son un grupo de micotoxinas caracterizado recientemente producidas por *F. moniliforme*, un moho presente en todo el mundo y que se encuentra con frecuencia en el maíz (IARC, 1993d). Se ha comunicado la presencia de fumonisin B1 en maíz (y sus productos) en diversas regiones agroclimáticas de países como los Estados Unidos, Canadá, Uruguay, Brasil, Sudáfrica, Austria, Italia y Francia. La producción de toxinas es particularmente frecuente cuando el maíz se cultiva en condiciones calurosas y secas.

Anteriormente, una evaluación del Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) había llegado a la conclusión de que se habían obtenido en estudios con animales de experimentación pruebas suficientes de la carcinogenicidad de cultivos de *F. moniliforme* con un alto contenido de fumonisin; sin embargo, los experimentos con animales habían proporcionado pocas pruebas de la carcinogenicidad de la fumonisin B1 (IARC, 1993d).

No obstante, el Programa Nacional de Toxicología del Departamento de Salud y Servicios Sociales de los Estados Unidos ha comunicado los resultados de un estudio concluido recientemente sobre la toxicidad y carcinogenicidad de la fumonisin B1 (NTP, 1999). Aunque está aún en la fase de redacción, el informe llega a la conclusión de que existen pruebas claras de la actividad cancerígena de la fumonisin B1 en ratas F344/N machos, basadas en el aumento de la aparición de neoplasmas en túbulos renales y que existen también pruebas evidentes de la actividad cancerígena de la fumonisin B1 en ratones B6C3F1 hembras, basadas en el aumento de la aparición de neoplasmas hepatocelulares. No existen pruebas de la actividad cancerígena de la fumonisin B1 en ratas hembras o ratones machos.

Ocratoxina A

Aunque los cereales se consideran la principal fuente de Ocratoxina A (OA) en la alimentación humana, se ha indicado (IARC, 1993e) que los productos de cerdo pueden ser también una fuente importante

de esta toxina. Se ha encontrado OA en sangre (y leche) de personas de diversos países europeos, como Francia, Italia, Alemania, Dinamarca, Suecia, Polonia, Yugoslavia y Bulgaria. Una de las concentraciones más altas notificadas es 100 ng/ml de OA en sangre procedente de Yugoslavia (Fuchs *et al.*, 1991); mientras que en Italia se han registrado concentraciones de OA en leche de 6,6 ng/ml (Micco *et al.*, 1991).

En al menos once países existen o se han proyectado reglamentos sobre la OA; las concentraciones permitidas varían de 1 a 50 mg/kg en alimentos y de 100 a 1.000 mg/kg en piensos. En Dinamarca, para determinar si los productos de una determinada canal de cerdo son aceptables se analiza el contenido de OA de un riñón de dicha canal. La carne y determinados órganos del cerdo pueden consumirse como alimentos si

el contenido de OA del riñón no es superior a 25 y 10 mg/kg, respectivamente (van Egmond, 1997).

El Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA, 1996a) ha recomendado una ingesta semanal tolerable provisional de OA de 100 ng/kg de peso corporal, correspondiente a aproximadamente 14 ng diarios por kg de peso corporal.

Se ha relacionado la OA con la nefropatía endémica de los Balcanes, una enfermedad renal crónica mortal que afecta a los habitantes de algunas regiones de Bulgaria, la ex Yugoslavia y Rumania. La OA ocasiona toxicidad renal, nefropatía e inmunodepresión en varias especies de animales y es cancerígena en animales de experimentación.