

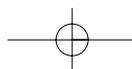
Maíz y Nutrición

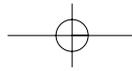
Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales
del maíz para la alimentación humana y animal

Recopilación de ILSI Argentina

Serie de Informes Especiales

Volumen II, octubre de 2006





Prólogo

Este Informe Especial es el segundo de la serie inaugurada por ILSI Argentina en 2004. Dada la importancia del cultivo de maíz en nuestro país, su papel central como materia prima de alimentos y su gran potencial en vista de la creciente demanda de granos a nivel mundial, hemos dedicado el segundo volumen a este cereal.

Fieles a nuestra misión, se ha reunido en este trabajo a especialistas del ámbito académico, de la industria y de organismos públicos que han aportado información actualizada sobre diferentes aspectos de este cultivo. Los temas tratados cubren las particularidades del cultivo en nuestro país, con una reseña del proceso de mejoramiento del maíz en la Argentina y los últimos adelantos aportados por la biotecnología moderna.

Asimismo, se incluyen en esta publicación trabajos que describen los usos del maíz, fundamentalmente en la producción de alimentos, así como aspectos de inocuidad relacionados con las micotoxinas que pueden estar presentes en el grano y que hacen a la calidad y seguridad de nuestra producción.

Por otro lado, se presentan trabajos que exploran el papel del maíz en la nutrición de aves, porcinos, bovinos de carne y de leche, y su implicancia en la calidad de los derivados de consumo humano.

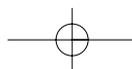
Se ha hecho un especial foco sobre la composición bioquímica y nutricional del cultivo, recopilando el estado actual del conocimiento, pero también aportando datos sobre composición de la producción argentina generados localmente.

Uno de nuestros objetivos es el de identificar las necesidades de investigación y generación de datos necesarios para la toma de decisiones. En este caso, es de destacar la necesidad de continuar trabajando en composición, completando las bases de datos existentes con análisis locales. La base de datos de composición internacional de ILSI (www.cropcomposition.org), que acaba de lanzar su versión 3.0, contiene más de 100.000 datos individuales sobre composición de maíz, algunos de los cuales provienen de muestras argentinas. Sin embargo, es necesario completar información sobre algunos componentes importantes no evaluados en nuestro país.

Este tipo de información será cada vez más necesaria, dadas las crecientes exigencias de los mercados internacionales y de los consumidores. Convocamos a los especialistas y organizaciones interesados a trabajar conjuntamente con este fin. La presente publicación es un ejemplo de este tipo de colaboración entre instituciones.

Confiamos en que este material aporte datos y recursos de información actualizados que contribuyan a dar un panorama abarcador sobre los usos alimentarios, las propiedades nutricionales y la seguridad del maíz y sus derivados.

ILSI Argentina



Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Volumen II: Maíz y Nutrición

El cultivo del maíz en la Argentina. Juan R. E. Gear, Maizar.	4
Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. Molienda Húmeda y Molienda Seca. Aníbal Alvarez, CAFAGDA - Cámara de Almidón.	9
Mejoramiento genético de maíz y su trayectoria en la Argentina. Guillermo Eyherabide. INTA Pergamino.	14
El maíz: su importancia histórica en la cultura americana. Marta Melgarejo. ASAGA.	22
El rol del maíz en la alimentación animal	
* Particularidades Nutricionales del grano de maíz en la alimentación de bovinos de carne. Gustavo Depetris y Francisco Santini. INTA Balcarce.	28
* Particularidades Nutricionales del grano de maíz en la alimentación de vacas lecheras. Gerardo Gagliostro. INTA Balcarce.	32
* Particularidades Nutricionales del grano de maíz en la alimentación de cerdos. Osvaldo Cortamira. INTA Pergamino.	35
* Particularidades Nutricionales del grano de maíz en la alimentación de aves. Laerte Moraes y Federico Vartorelli, Renessen.	39
Composición y aspectos nutricionales	
* Componentes nutricionales del grano de maíz. María Luz Pita Martín de Portela. UBA.	44
* Perfil de la composición de la producción del maíz cultivado en Argentina. ILSI Argentina.	51
* Aporte nutricional de las principales formas de consumo del maíz en la alimentación humana. Margarita Olivera Carrión. UBA.	56
Micotoxinas en maíz Héctor Godoy. INTA Castelar	63
Impacto de los cultivos modificados genéticamente en la contaminación con micotoxinas en maíz Sofía Chulze. UNR Córdoba.	70
Biotecnología en maíz Gabriela Levitus. ArgenBio.	73



El cultivo del maíz en la Argentina

Juan R. E. Gear



El maíz es originario de Mesoamérica y existen varios centros de diversidad a lo largo de la cordillera de los Andes. Desde México hasta la Región Andina de América del Sur, el maíz es una fuente de alimento esencial, en particular en zonas rurales, donde el acceso a tecnología y variedades mejoradas es limitado. Durante la selección y transformación (domesticación), que iniciaron los indígenas americanos hace más de 8000 años, el maíz cultivado ganó varias cualidades nutricionales, pero perdió la capacidad de sobrevivir en forma silvestre. El Teosinte (su ancestro), sin embargo, aún se encuentra como gramínea salvaje en México y Guatemala.

Zea mays es una planta gramínea alta, anual, con vainas foliares que se superponen y láminas alternadas anchas. Posee espigas (inflorescencias femeninas encerradas por "chalas") de 7 a 40 cm. de largo y flores estaminadas que, en conjunto, forman grandes panojas terminales o inflorescencias masculinas. Se propaga por semillas producidas mayormente por fecundación cruzada (alógama) y depende del movimiento del polen por el viento. Existe una amplia diversidad genética en toda la región que ha sido centro de origen del maíz. En México solamente, existen más de 40 razas de maíz, y unas 250 en el resto de América.

A fines del siglo XV el maíz fue introducido en Europa, donde se convirtió en un factor clave de la alimentación humana y animal. Debido a su gran productividad y adaptabilidad, se extendió rápidamente a lo largo de todo el planeta, y hoy se desarrolla en todos los continentes, donde ocupa la tercera posición en cuanto a producción total de cereales, detrás del arroz y el trigo.

Hasta el siglo XX, el maíz se fue mejorando a través de variedades de polinización abierta, que eran una colección de individuos heterocigotas y heterogéneos. Estas variedades fueron evolucionando gracias a la selección realizada por las distintas civilizaciones americanas. Sin embargo, gracias a los avances en el conocimiento de su genética, fue posible desarrollar líneas (genéticamente uniformes) con características particulares, a partir de las que los mejoradores lograron construir semillas híbridas, con cualidades superiores.

En la actualidad se desarrollan nuevos híbridos con mayor rendimiento y mejores características agronómicas, capaces de resistir enfermedades y plagas. Los avances de la biología molecular y de las técnicas de ingeniería genética abren una nueva etapa en la biotecnología aplicada a la agricultura, y ofrecen nuevas tecnologías para la producción de maíz.

El maíz, como producto de valor, ha evolucionado positivamente a lo largo de su historia. Con el correr de los años, las industrias vinculadas a la cadena del maíz se han ido desarrollando en forma progresiva, transformando un grano cuyo único destino era la alimentación humana en una materia prima esencial para el desarrollo de múltiples procesos industriales.

Este fenómeno de transformación ha avanzado tanto en aquellos países que lo producen en gran cantidad, como el caso de Brasil o EE.UU., como en aquellos que deben importarlo para abastecer sus industrias, como el caso de Japón o Corea. Estos procesos industriales son llevados adelante por su capacidad de generación de empleo e inversión, dando origen a

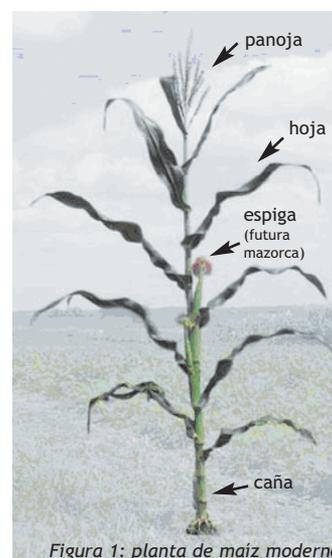
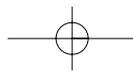


Figura 1: planta de maíz moderno





desarrollos regionales e innumerables oportunidades de crecimiento y progreso. Esta característica impacta sobre todos los eslabones que componen la cadena de valor del maíz, desde el desarrollo de ciencia y tecnología, hasta el consumidor.

Tipos y variedades de maíz

Todos los maíces pertenecen a la misma especie y los tipos o razas que los diferencian corresponden a una simple clasificación utilitaria, no botánica. Los distintos tipos de maíz presentan una multiplicidad de formas, tamaños, colores, texturas y adaptación a diferentes ambientes, constituyendo numerosas variedades primitivas o tradicionales que son cultivadas actualmente. En nuestro país se localizan en zonas de agricultura de subsistencia y minifundios del NOA, NEA y comunidades indígenas andinas y patagónicas, que por sus características culturales basan su alimentación en un reducido número de cultivos que poseen gran variabilidad de tipos con distintos usos, como el maíz. La producción es utilizada fundamentalmente para consumo familiar y a partir de estas diversas variedades preparan numerosas comidas, incluyendo postres y bebidas. Desde el punto de vista comercial, es utilizado sólo un reducido número de tipos y usualmente se clasifican de acuerdo a la dureza del grano:

1- Tipos duros o Flint: la raza representativa es Cristalino Colorado, e incluye al maíz Plata, requerido principalmente por la industria de molienda seca. Tradicionalmente se utilizaba para la obtención de polenta, pero sus usos se han multiplicado progresivamente, se lo emplea para la fabricación de cereales para desayuno o como alimento para animales.

2- Tipos dentados: entre los maíces nativos se destaca la raza Dentado Amarillo y son característicos los híbridos del "Corn Belt" norteamericano. Estos tipos de maíces son muy utilizados por la industria de molienda húmeda para la obtención de alcohol, almidones y fructosa, entre otros ingredientes empleados en la industria alimentaria.

3- Tipos reventadores o Pisingallo o Popcorn: corresponden a los maíces cuyo endosperma es vítreo, muy duro. En contacto con el calor, su endosperma se expande formando la "palomita" de maíz.

4- Tipos harinosos: corresponden a un grupo numeroso de razas que se localizan tanto en la zona de altura del NOA (cuyos tipos característicos son los Capias) como en las zonas bajas del NOA y NEA (donde se destaca la raza Abatí Morotí). El endosperma de estos maíces es casi enteramente harinoso. Son muy utilizados para su consumo fresco (choclo) y en la elaboración de diversas comidas tradicionales basadas en harina de maíz.

Maíz Flint



Maíz Dentado



Entre los tipos de maíces mencionados, que son los tipos extremos, se encuentran numerosas formas raciales con texturas intermedias, que también son utilizadas para la elaboración de gran cantidad de platos regionales.

El cultivo en la Argentina

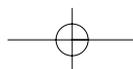
El maíz cultivado en la Argentina tiene una madurez relativa de 110 a 130 días, siendo de 110 a 115 días el ciclo ideal para la región sudeste de la provincia de Buenos Aires; de 115 a 125 para la región Pampeana Central, y de 125 a 130 días para zonas subtropicales.

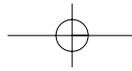
El avance tecnológico sobre la genética del maíz, condujo a que sea el cultivo con mayor aumento de rendimiento en los últimos 30 años. Por otra parte, la oferta y variedad de los insumos utilizados en su producción, tales como agroquímicos, fertilizantes, maquinaria, etc., provocaron profundos cambios para que tenga cada vez mayores rendimientos.

La producción argentina de maíz, que a comienzos de la década del '90 totalizaba unos 8 millones de toneladas anuales, ha experimentado un constante crecimiento, llegando a recolectarse en la campaña 2004/2005, 20,5 millones de toneladas, con un rinde promedio nacional de 7.300 Kg/ha. (Fuente: SAGPyA - No incluye consumo en chacra)

Mirando en retrospectiva, el suceso más destacado en los años '70 fue la masificación del uso de híbridos en las zonas típicamente maiceras de la pradera pampeana. Paralelamente, se observan avances tecnológicos en la maquinaria agrícola, una mayor cantidad de fitosanitarios y un mejoramiento de las prácticas agronómicas.

En los años '80 continuó el proceso de sustitución de variedades por híbridos, lográndose grandes avances en el manejo poscosecha del grano, en particular en los procesos de almacenamiento y secado. Los productores, ante el avance del deterioro del suelo, comienzan a adoptar diferentes sistemas de labranza conservacionista, tendientes a frenar este





proceso (por ejemplo, la siembra directa).

Durante la década del '90 no sólo se lograron incrementos en la cantidad de grano producido, sino que además son destacables los avances en materia de calidad. Los motivos del crecimiento son muchos, pero entre los principales podemos mencionar: el aumento de la superficie dedicada a su cultivo; la disponibilidad en el mercado de nuevos híbridos de mayor potencial de rendimiento y mejor resistencia a enfermedades y plagas, aptos para satisfacer la demanda de los diferentes destinos; el incremento en el área fertilizada; la creciente utilización del sistema de siembra directa; la incorporación de la práctica de riego complementario; el recambio del parque de cosechadoras y, a partir del ciclo 1998/99, el uso de semillas transgénicas.

En el cuadro 1 se puede observar el aumento de los rendimientos promedio por hectárea en nuestro país a lo largo de los últimos treinta años, hasta alcanzar los 71qq/hectárea promedio obtenidos en la campaña 2004/2005.

Entretanto, entre los nuevos desafíos que deberá enfrentar el productor maicero, es fundamental su integración al resto de los eslabones de la cadena, de manera de cumplir con los crecientes requisitos de calidad demandados tanto por las industrias transformadoras como por los mercados internacionales, cada vez más exigentes.

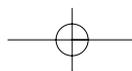
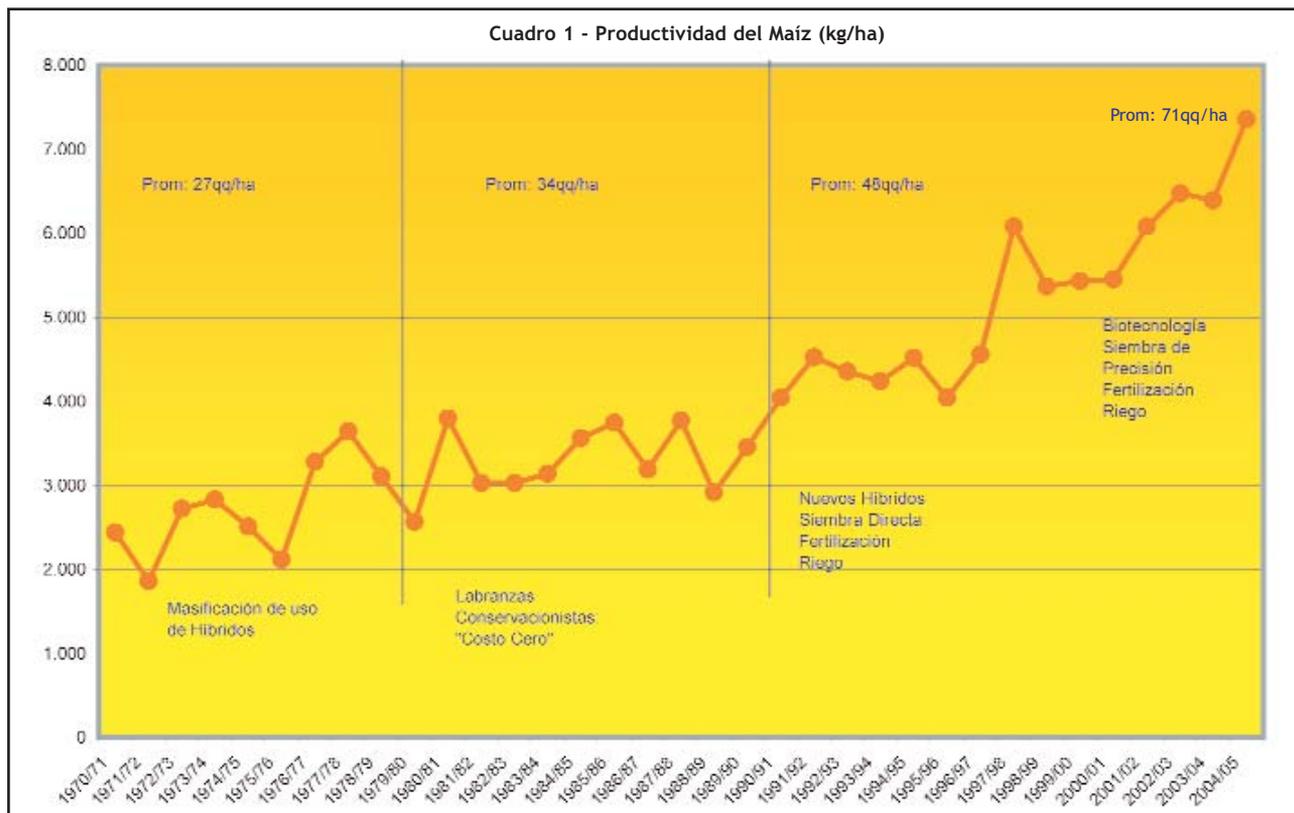
Los maíces especiales

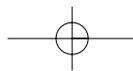
Gracias al trabajo de investigación de las instituciones públicas y privadas de la Argentina, y a los integrantes de la cadena del maíz, surgieron los maíces diferenciados o especiales que conocemos hoy. Nuestro país lidera varios de estos mercados a nivel mundial, y a nivel local aumentan la competitividad de las industrias que los requieren como materia prima.

Actualmente, los maíces especiales que adquieren mayor importancia en nuestro país son los maíces colorados (Flint); el pisingallo, y los (MAV) Maíces de Alto Valor.

Los tradicionales maíces colorados argentinos, que hasta la década de 1980 constituían el 100% del germoplasma nacional, fueron cruzados con germoplasma dentado americano a partir de fines de los '80, mejorándose substancialmente el rendimiento potencial del cultivo, y constituyendo la base de la mayor parte de los híbridos actuales. El maíz colorado siguió un camino paralelo de mejoramiento, logrando importantes aumentos en su potencial de rendimiento y manteniendo las características especiales de los maíces Flint o Plata. De los maíces Flint, como especialidad no OGM (Organismos Genéticamente Modificados), se exportan a la UE alrededor de 400.000 toneladas anuales, y la Argentina es el único productor a nivel mundial.

El maíz pisingallo o pop-corn es otra especialidad que tuvo un desarrollo acelerado durante la última década, ubicando a la Argentina como el primer exportador mundial, con unas 120.000 toneladas anuales. A la introducción de nuevos híbridos americanos de alto potencial, en los últimos años se agre-





garon planes de mejoramiento nacionales, que incrementaron notoriamente el rendimiento del cultivo.

El maíz MAV (Maíz Alto Valor) es una nueva especialidad que viene produciéndose desde hace unos seis años en la Argentina. Consiste en una asociación varietal que produce un grano con mayor valor nutritivo determinado por una mayor concentración de aceite (duplica el valor del maíz común) y un incremento del 20% en la concentración de proteína, incrementando así el contenido de aminoácidos esenciales. Estas características en su composición le dan un valor agregado para la industria avícola y porcina. Actualmente, la Argentina es el primer exportador mundial de maíces MAV con 500.000 toneladas anuales.

La importancia del maíz en la rotación de cultivos

En los últimos años, la agricultura en nuestro país experimentó cambios muy significativos. Principalmente de la mano de la soja, y en vista de sus buenos precios internacionales, avanzó rápidamente ocupando varios millones de hectáreas de campos dedicados a la ganadería e incorporando nuevas superficies con menor aptitud para la actividad agrícola.

Si bien en los últimos años la fertilización de los cultivos es una práctica que se ha difundido y desarrollado ampliamente, en general no se reponen al suelo todos los nutrientes extraídos por los cultivos. Esta reposición de nutrientes, menor a la adecuada, está provocando una disminución de los niveles de materia orgánica de los suelos y en consecuencia de su fertilidad.

Estos balances negativos de materia orgánica se intensificaron ante el aumento de la superficie sembrada con soja, debido a que el carbono mineralizado anualmente por la soja no es compensado por la escasa cantidad y baja relación C/N de sus rastrojos.

La materia orgánica constituye el indicador más directo de la calidad de un suelo. Es el principal reservorio de nutrientes para las plantas y contribuye fuertemente a la estabilización de la estructura edáfica. Es un componente clave del suelo, ya que contiene alrededor del 95% del nitrógeno edáfico e influye favorablemente sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas, siendo por lo tanto fundamental para obtener rendimientos elevados y estables de los cultivos.

Un incremento en la frecuencia de siembra de cultivos que aportan un mayor volumen de rastrojos amortigua la caída del contenido de materia orgánica del suelo y favorece la recuperación del mismo. Los cultivos de trigo, soja, girasol y maíz difieren en la cantidad y calidad de los rastrojos que quedan en

el sistema luego de la cosecha (Cuadro 2). Por lo tanto, la frecuencia de aparición de aquellos cultivos en la rotación incide directamente sobre el contenido de materia orgánica del suelo.

El elevado volumen de rastrojos aportado por el maíz contribuye favorablemente al contenido de materia orgánica del suelo. Además, la elevada relación carbono/nitrógeno permite una mayor perdurabilidad de los residuos.

El mantenimiento de una adecuada rotación de cultivos resulta fundamental para asegurar la sustentabilidad de los sistemas en el mediano y largo plazo. Las rotaciones que incluyen maíz obtienen una mayor rentabilidad en el largo plazo por su contribución a la estabilidad de los sistemas de producción, manteniendo la materia orgánica de los suelos para ser aprovechada por los cultivos siguientes.

Un escenario de cambio como el que está experimentando la agricultura debe responder a un proceso razonado, apoyado en el conocimiento y manejo tecnológico adecuado de cada componente del sistema de producción. En este contexto, el cultivo de maíz surge como un eslabón que, integrado a otros, contribuye sustancialmente al funcionamiento y mantenimiento de la calidad de los recursos y al potencial productivo de nuestros suelos.

Los mercados de maíz

Una vez recolectado y acondicionado, el grano de maíz puede seguir diferentes caminos. Una parte se consume en el mercado interno y otra se destina a satisfacer la demanda de los mercados internacionales.

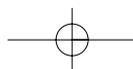
En cuanto a ventas externas, la Argentina es el segundo exportador mundial de maíz, aunque se encuentra a una sensible distancia del primero que es Estados Unidos. En este sentido, nuestro país cuenta con una gran ventaja: hace varias décadas que participa en el mercado mundial de maíz, y las empresas exportadoras tienen una vasta trayectoria en la captación y conservación de clientes en todo el mundo.

Hasta hace pocos años, nuestro país exportaba un 80% del maíz producido y sólo transformaba internamente el 20%. Hoy, la cadena del maíz argentino transita un proceso de cambio: el consumo interno crece en forma muy acelerada, especialmente por parte de las industrias que lo utilizan como materia prima para la transformación de proteína (avicultura, ganadería, lechería y cerdos), y las industrias de molienda seca y húmeda buscan decididamente un mayor nivel de eficiencia y de calidad en sus productos.

Los datos indican que la avicultura, entre la producción de pollos y huevos, demandó durante 2005 unas 2,8 millones de toneladas; y ya hace algunos años que muestra un crecimiento sostenido. La lechería consumió entre 1,8 y 3,5 millones; la ganadería entre 2,7 y 4,5 millones; los porcinos 800.000 toneladas; la industria de molienda húmeda 1,1 millón de toneladas, y 600.000 toneladas la molienda seca. Todo esto representa un total de entre 10 y 13 millones de toneladas de maíz consumidas internamente (Cuadro 3).

Cultivo	Relación Paja/Grano	Rastrojos (kg/ha)	Relación C/N
Trigo	1,5	4800	82
Maíz	1,4	9500	77
Girasol	1,7	3700	60
Soja	1,3	2900	46

Fuente: INTA





Cuadro 3 - Consumo Interno de Maíz - 2005 -	
	Toneladas
Avicultura	2.800.000
Lechería	1.800.000 - 3.500.000 (*)
Ganadería	2.700.000 - 4.500.000 (*)
Porcinos	800.000
Molienda Húmeda	1.100.000
Molienda Seca	600.000
Total General	9.800.000 - 13.300.000

* No existen estadísticas oficiales sobre el consumo de maíz por parte de la lechería y la ganadería, ya que lo que se siembra para consumo propio en chacra no se considera en las estadísticas oficiales. Estos datos se basan en la opinión de expertos pero no se pueden medir con exactitud.

Sin lugar a dudas, el maíz es el grano forrajero por excelencia, pero además se distingue por sus múltiples posibilidades de utilización en diversos procesos industriales. Luego de su procesamiento, del maíz se obtiene una gama de productos cada vez mayor, convirtiéndolo en el insumo fundamental de industrias chicas, medianas y grandes, que generan riqueza y empleo.

Mirando al futuro

El etanol

El uso de biocombustibles, como el etanol, se difunde rápidamente alrededor del mundo. En el año 2005, los Estados Unidos destinaron más de 40 millones de toneladas de maíz (12% de su producción anual), a la producción de más de 17.000 millones de litros de etanol, elaborados en más de 90 plantas de procesamiento. Se estima que la producción de etanol proporciona más de 300.000 puestos de trabajo en dicho país, estimulando muchas áreas rurales. Lo cierto es que la producción de etanol a partir de maíz en los EE.UU. crece a razón de un 30% al año y en la actualidad tiene otras 30 plantas en construcción.

En esta producción Brasil es desde hace tiempo el líder en Latinoamérica, con 18.000 millones de litros. Entretanto, China es el mayor productor asiático, con más de 1.000 millones de litros anuales, y ya ha construido la mayor planta del mundo. En la Unión Europea se ha dispuesto un conjunto de medidas legislativas y exenciones fiscales para promocionar los biocombustibles. En un informe reciente, la Comisión Europea señala que el creciente empleo de biocombustibles supondría numerosas ventajas para la U.E., destacando entre ellas una menor dependencia de combustibles fósiles importados, una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero, y la provisión de nuevas salidas para los agricultores. Se estima que la U.E. produjo alrededor de 2,4 millones de toneladas de biocombustibles en 2004, un aumento del 25% respecto del año anterior, cifra que representa 500 millones de litros de etanol y 1,9 millones de toneladas de biodiesel.

En este contexto, el mundo entero explora la posibilidad de disponer de fuentes alternativas de energía. En consecuencia, se está desarrollando un nuevo mercado mundial de biocombustibles, donde ciertos países se posicionan como claros oferentes -Brasil, Perú, Australia, Colombia, Centro América- y

otros como claros demandantes -Japón, U.E., EEUU, India, China-. Todavía no se puede observar claramente cuál será el rol de la Argentina en este mercado, aunque muchos de los principales demandantes ven con gran interés la posibilidad de iniciar operaciones con la Argentina una vez que la ley de biocombustibles esté aprobada y reglamentada.

El desafío argentino está en aprovechar la oportunidad de abastecer al mundo con alimentos y energía renovable, mejorar el nivel de vida de nuestra población, crear oportunidades de educación y trabajo digno para todos, lograr que los objetivos públicos y privados coincidan para alcanzar ese futuro, y desarrollar los mecanismos de coordinación que cada cadena necesita para lograr su máximo desarrollo.

Nuevos usos

Cada día se descubren nuevos usos industriales para el maíz. Han comenzado a utilizarse papeles elaborados a base de maíz, en los países desarrollados se están elaborando plásticos biodegradables a partir de almidón de maíz, más ecológicos que los plásticos industriales derivados del petróleo. A partir de estos plásticos, se están desarrollando telas de secado rápido para deportistas, CD's, computadoras, teléfonos celulares, frazadas, alfombras y envases de alimentos, entre otros. Se asegura que ya hay más de 4.000 usos diferentes para los productos que se extraen del maíz.

La Asociación Maíz Argentino -MAIZAR-

El principal desafío de la Asociación Maíz Argentino -MAIZAR- es la coordinación y estrategia de la cadena del maíz en su conjunto para los próximos años, de manera de generar riqueza en toda la cadena, lograr un crecimiento sostenido del cultivo y de todas sus industrias conexas, además de consolidar y aumentar nuestros mercados de exportación.

Promover las industrias de transformación a los efectos de lograr mayores valores agregados que dinamicen las economías regionales figura como una de las metas a lograr. Para alcanzar estos objetivos son examinadas tanto las dificultades de las industrias relacionadas con el maíz, que limitan su consumo, como así también se investigan los nuevos usos como los bioplásticos o los biocombustibles.

Integrar las visiones, intereses y realidades de industrias muy diferentes entre sí representa un enorme reto, pero es justamente este desafío el que permitirá adquirir mayor conocimiento, mayor valor agregado, más y mejores negocios y mayor generación de empleo. Logros que, en definitiva, contribuirán a desarrollar una cadena más sólida y exitosa, y a generar mayor bienestar para nuestra sociedad.

Lecturas y sitios sugeridos:

www.maizar.org.ar
 www.sagpya.gov.ar
 Corn Growers Association (www.ncga.com)
 Documento de Consenso de OECD (Biology of Maize).



Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias

Aníbal Alvarez

La molienda húmeda

El grano de maíz tradicional está compuesto por un 70 a 75% de almidón, 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite, contenidos en tres estructuras: el germen (embrión), el endosperma y el pericarpio (ver Gráfico 1). El germen constituye el 10 al 12% del peso seco y contiene el 83% de los lípidos y el 26% de la proteína del grano. El endosperma constituye el 80% del peso seco y contiene el 98% del almidón y el 74% de las proteínas del grano. El pericarpio constituye el 5 al 6% del peso seco e incluye todos los tejidos de cobertura exterior, con un 100 % de fibras vegetales.

El proceso de la molienda húmeda permite separar en un medio acuoso los distintos componentes del grano, esto es carbohidratos, proteínas y lípidos. Para ello, antes de ingresar al molino, se somete al grano de maíz a un proceso de maceración con agua sulfurada y se facilita así la separación de los cuatro componentes básicos: almidón; aceite de maíz (germen); gluten para consumo y gluten ingrediente.

En nuestro país, la industria de la molienda húmeda viene desarrollando sus actividades desde 1928, con consumos de maíz que en la actualidad llegan al millón de toneladas anuales. Esto representa alrededor del 15% del consumo argentino de dicho cereal, porcentaje que es uno de los más elevados del mundo y muestra la importancia de esta industria en el mercado interno de los cereales. Este sector posee un alto nivel tecnológico.

En la actualidad, operan en la molienda húmeda argentina cuatro empresas con inversiones en tecnología muy significativas.

Procesos

En la molienda húmeda se utilizan todos los tipos de maíz, pero dada su mayor disponibilidad, en los últimos años se emplean casi exclusivamente maíces dentados y semidentados. La porción de almidón del endosperma del grano es la materia prima para los endulzantes de maíz y se separa de las demás fracciones durante el proceso (ver Diagrama 1).

El almidón de maíz, se encuentra naturalmente en forma de gránulos discretos de forma y tamaños característicos. Estos gránulos se hinchan cuando se los suspende en agua y se los calienta, hasta que finalmente se rompen para producir una pasta en la que las dos variedades moleculares del almidón se dispersan en el medio. Estas variedades moleculares son el almidón de cadena lineal (amilosa) y de cadena ramificada (amilopectina). El maíz común posee usualmente de 25 a 30% de amilosa en su almidón.

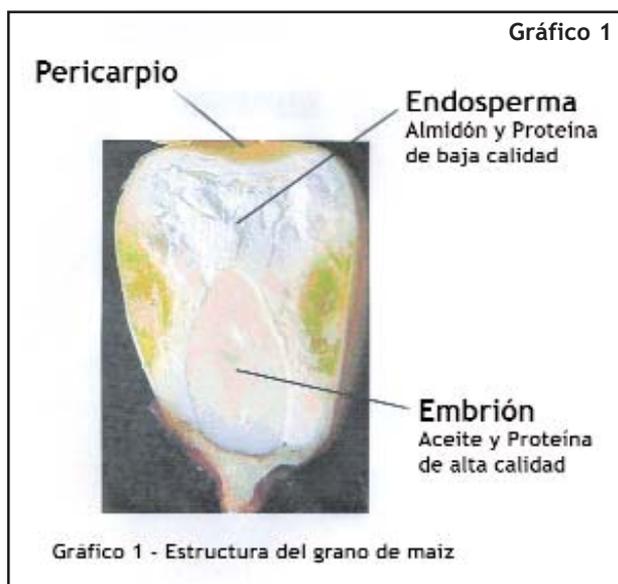
Ambas estructuras son homopolímeros de condensación o múltiples agregados de moléculas de dextrosa (D-glucosa) unidas químicamente en forma primaria mediante un enlace α (1, 4). Mientras que la amilosa se encuentra en la forma lineal exclusivamente, en la amilopectina las cadenas lineales se organizan en forma ramificada y la ramificación se ubica en la unión α (1, 6). (Ver Gráfico 2)

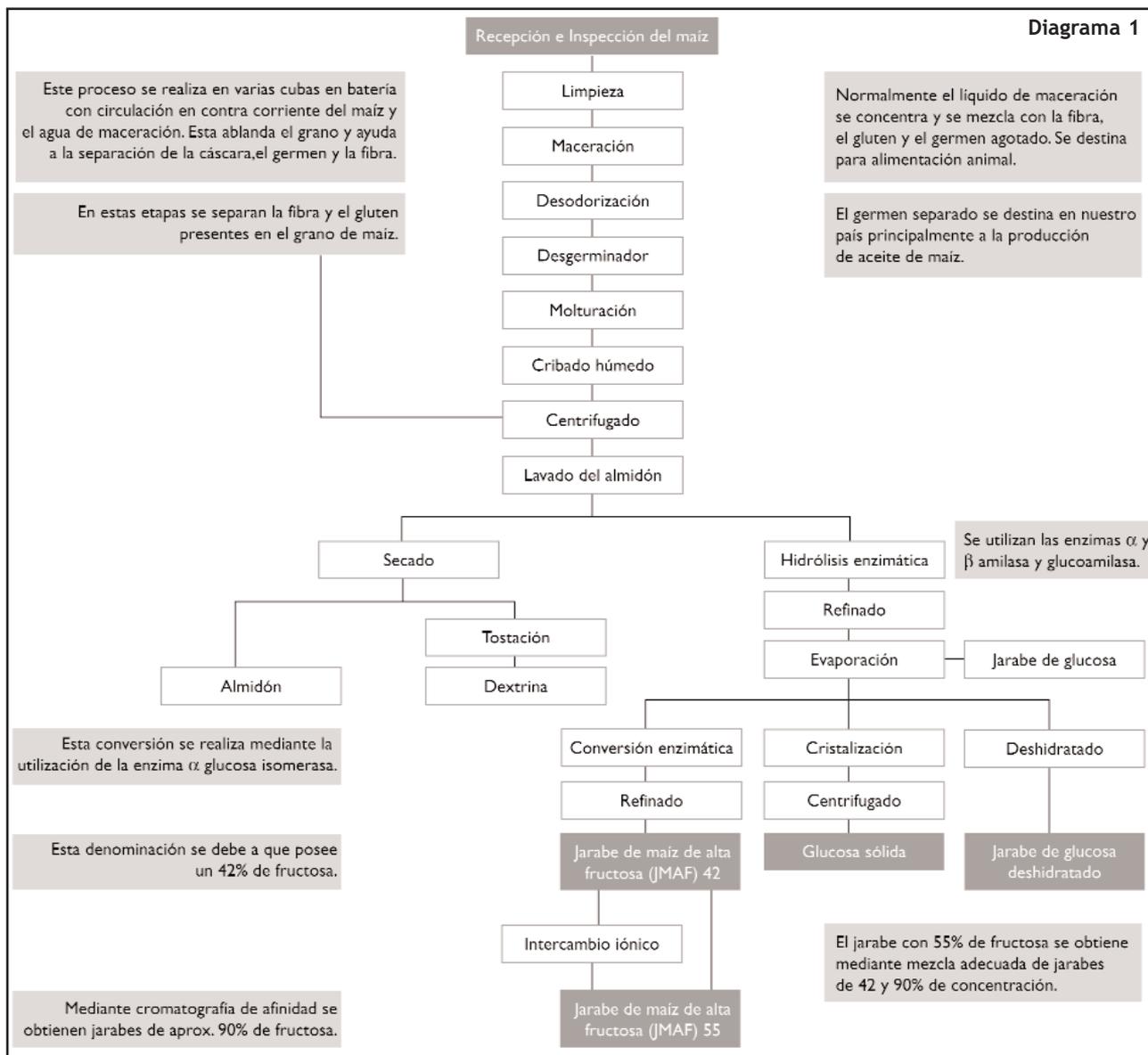
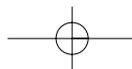
Conversión del almidón

Cuando las uniones entre moléculas de dextrosa (unidades de glucosa anhidra) se rompen químicamente por la adición de agua, el producto final de esta conversión o reacción de hidrólisis es el azúcar simple D-glucosa.

La hidrólisis del almidón se cataliza por medio de ácidos y enzimas.

Controlando los parámetros de esta reacción (temperatura, tiempo y catalizadores enzimáticos), se pueden obtener cantidades fijas y predecibles de dextrosa y de los restantes polímeros de menor tamaño del almidón. Así se obtendrá por hidrólisis: dextrosa, maltosa (dos unidades de dextrosa), maltotriosa (tres unidades), etc. La combinación adecuada de procesos químicos permite producir casi cualquier





mezcla de productos de conversión del almidón y por lo tanto jarabes y productos deshidratados con características físico químicas apropiadas para usos específicos.

Productos y especificaciones

Por cada 100 kg de maíz en base seca, se obtienen 67 kg de almidón, 9 kg de germen, 8 kg de gluten meal y 16 kg de gluten feed (Gráfico 3) cuyas definiciones se ven más adelante. De la industrialización del almidón se obtiene 25% de glucosa, 1% de dextrina, 18% de fructosa al 42 y 46% de fructosa 55.

El principal producto en términos de ventas son los edulcorantes de maíz, en los cuales nuestro país cuenta con una tecnología de proceso muy actualizada. En el año 2004 la producción de edulcorantes de almidón alcanzó las 520 mil toneladas, con un aumento de más del 100% en la última década. (Ver Tabla 1).

Su producción está fuertemente orientada al mercado doméstico (aunque en los últimos años ha iniciado una muy interesante corriente

exportadora) como ingrediente en otras producciones alimentarias. El 60% del consumo interno de endulzantes corresponde al azúcar proveniente de caña, el 25% a edulcorantes de maíz producidos en el país y el 15% a los sustitutos no calóricos importados.

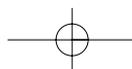
Edulcorantes de maíz

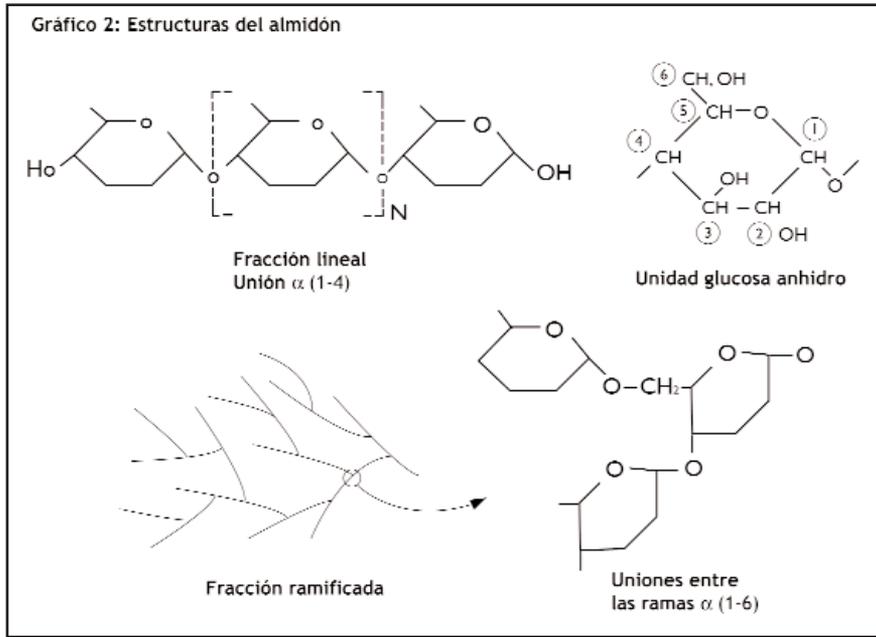
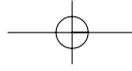
Es posible obtener numerosos edulcorantes de maíz de variada composición, pero las clases comerciales definidas son las siguientes:

Tabla 1: Producción de molienda húmeda según productos

Producto	Miles de toneladas al año
Fructosas	300
Gluten Feed y Gluten Meal	180
Glucosas	150
Almidones	70
Otros edulcorantes	70
Aceite de maíz	30

Fuente: Aníbal Álvarez, CAPAGIDA en Mundo Maíz 2004





* **Fructosa 42:** es un jarabe edulcorante producido por un proceso de doble conversión enzimática (almidón - dextrosa - fructosa). Su composición de carbohidratos es fructosa 42%; dextrosa 50%; altos sacáridos 8%. Además presenta: Contenido de sólidos 71%; pH= 4,3; Viscosidad a 20°C= 160 cps; Densidad= 1,34. Se usa en la fabricación de panificados y galletitas, en sidras, etc.

* **Fructosa 55:** es un jarabe obtenido por doble conversión enzimática y posterior fraccionamiento. Su composición es 55% fructosa; 41% dextrosa y 4% altos sacáridos. Contenido de sólidos 77%; pH= 3,5; Densidad= 1,38; Viscosidad a 20 °C = 700 cps. Su destino principal son las bebidas sin alcohol. Brinda al embotellador ventajas logísticas, requiere menores inversiones, permite simplificaciones de proceso. Los últimos dos años los mercados chileno y uruguayo pasaron a absorber un 25% del total vendido.

* **Jarabes mezcla:** son jarabes de maíz obtenidos por conversión enzimática, con mediano contenido de fructosa. Su poder edulcorante es mediano, reemplazando a otros azúcares en numerosos productos. Se los utiliza principalmente en frutas en conservas (duraznos en almíbar), dulces de membrillo y batata, mermeladas, fruta escurrida, heladería y apicultura.

* **Jarabe de glucosa:** es un jarabe obtenido por hidrólisis incompleta ácida o enzimática del almidón de maíz. Se presenta en forma de solución acuosa concentrada y purificada. Su composición es: 18% de dextrosa; 16% de maltosa y 66% altos sacáridos. Contenido de sólidos = 80%; pH 4,2/5,2; Viscosidad 140 cps; Densidad 1,42.

Se lo utiliza principalmente en la fabricación de caramelos, chicles, dulce de leche, jarabes medicinales, etc. En general es usado como un inhibidor de la cristalización.

* **Dextrosa:** se obtiene por depolimerización completa del almidón y posterior refinamiento y cristalización. Es un polvo blanco o cristalizado soluble en agua. Se la utiliza en toda la industria alimenticia como fuente de carbohidratos de alta pureza y como vehículo para sabores y colores. Se emplea en chacinados, productos cárnicos, mermeladas, conservas, fermentación, helados y también en la industria farmacéutica.

* **Maltosa:** es un jarabe obtenido por hidrólisis enzimática. Se usa en caramelería y en la fabricación de cerveza.

* **Colorante caramelo:** es un producto colorante obtenido por cocción bajo condiciones especiales. Destinado a las bebidas cola y a determinados alimentos y bebidas a los cuales confiere color.

Otros productos

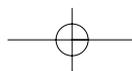
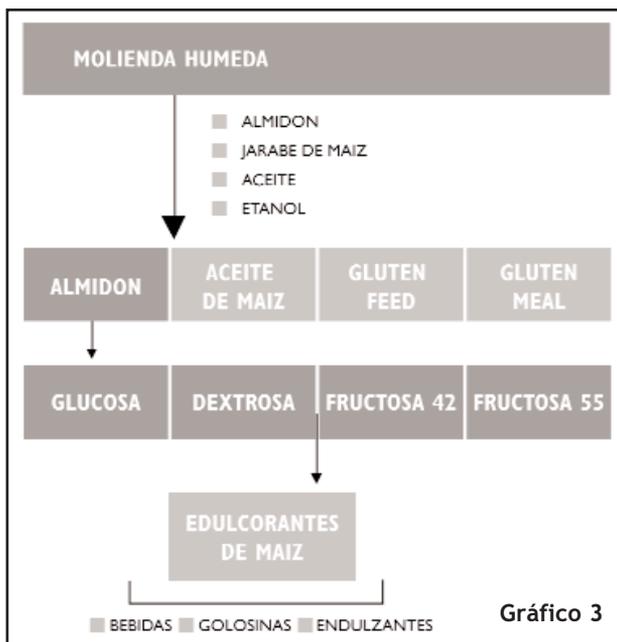
* **Maltodextrina:** es un polímero de dextrosa obtenido a partir del almidón por procesos enzimáticos. Es un polvo blanco. Composición: dextrosa 1%, maltosa 3%, triosas y polisacáridos 96%. Se utiliza para una serie de ramas de la industria alimenticia aportando carbohidratos y realzando sabores.

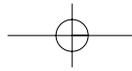
* **Almidones:** a partir de la lechada de almidón y su posterior secado se obtienen almidones estándar. Se emplea como aglutinante, gelificante (por su poder adhesivo) y encolante, en las industrias papelera, textil, alimentaria, de cartón corrugado, petrolífera, etc.

Coproducidos

* **Gluten meal:** está constituido por la fracción proteica que se separa en el proceso de molienda húmeda. Contiene más del 60% en peso de proteína. Por su gran contenido de beta-carotenos realza el color en huevos y carne aviar.

* **Gluten feed:** está compuesto por la porción fibrosa, proteínas solubles y torta de extracción de





Usos del maíz (molienda húmeda e industrias derivadas)

ALMIDONES (Inc. dextrinas) USOS INDUSTRIALES	JARABES (Fructuosa) USOS INDUSTRIALES	GLUTEN FORRAJES	GERMEN USOS ALIMENTICIOS /MEDICOS	DEXTROSA (Inc. melazas) USOS INDUSTRIALES
abrasivos - baterías - cartones - encuadernaciones - químicos - revestimientos - ind. del corcho - dispersantes - fermentación - pitotecnia talcos lubricantes refinación mineral - ind. papelera - plásticos - emulsiones - gomas - etiquetados - fósforos - ind. del calzado - adhesivos - pegamentos - desincrustantes - cerámicos/azulejos - detergentes - cuerdas y sogas - tiras y crayones - tinturas - fibras de vidrio - polvos insecticidas - mat. aislantes - encerados - pinturas - mat. fotográfico - impresiones - ind. textil - laminados madera - ind. del cuero - velas - litoteo.	tintas y colorantes explosivos cromados plastificantes ind. textil ind. del tabaco USOS ALIMENTICIOS/MEDICOS prod. panadería - bebidas - prod. malteados - salsas - quesos/untables - leche condens. - huevos desecados/congelados - postres - frutas y jugos de frutas enpaquet. o enlatados - pastas de maní - pescado congelado - sopas deshidrat. - endulzantes - alimentos p/bebes - gaseosas - licores - alimentos p/desayuno - prod. chocolates - prod. confitería - gomas de mascar - sustitutos leche/cremas - extractos y fragancias - helados/golosinas - dulce/mermeladas - premezclas - prod. cármicos - aderezos - prep. farmacéuticos - prod. adobados. JARABE DE ALTA FRUCTOSA Y MALTODEXTRINAS endulzantes bajas calorías - frutas y jugos enlatados - condimentos - postres congelados - alimentos deshidrat. - vinos - dulce y mermeladas - malveviscos - infusiones instantáneas - bebidas y gaseosas - snacks - salsas.	gluten feed gluten inasal azúcares OTROS USOS aminoácidos limpieza pieles	aceite aderezos salsas mayonesas margarinas exfoliante farmacéutico lecitina USOS INDUSTRIALES jabones antioxidativos ind. textil sustitutos de gomas químicos e insecticidas pinturas y barnices	fermentación - prod. químicos galvanizadores - ind. del cuero ind. del papel - ind. textil adhesivos - encimas manitol sorbitol rayon - ácidos USOS ALIMENTICIOS-MEDICOS jugos cítricos prop. dietéticos aromatizantes gelatinas especias y preparados de mostaza vinagres y vinos prod. p/destilación frutas y vegetales congelados/enlatados prep. farmacéuticos bebidas carbonatadas DERIVADOS DE MELAZAS ácidos orgánicos solventes orgánicos ind. del tabaco ind. del cuero ETANOL alcoholes industriales bebidas alcohólicas combustibles

aceite. Contiene un mínimo del 21% de proteínas, con alta energía metabolizable y excelente aporte de aminoácidos y vitaminas. Se emplea en la preparación de raciones para bovinos y porcinos y alimentos para mascotas.

* **Germen:** de él se extrae el aceite de maíz ampliamente reconocido por su calidad.

Mercados

En la Tabla 2 se puede apreciar la distribución de la producción de maíz en la Argentina según el uso al que se lo destina. En el gráfico 4 se puede ver la competencia de la molienda húmeda respecto de otros sectores. Como se observa la molienda húmeda está en tercer lugar en consumo de maíz, detrás de las aves y el consumo bovino.

La molienda seca

La molienda seca es el proceso en el que se separan las distintas partes que componen los granos de maíz. Se obtienen los siguientes productos:

Maíz troceado.

Sémolas.

Grano de maíz partido: como sustituto de la malta para la industria cervecera

Snacks: productos de copetín obtenidos por extrusión (por ej. palitos de maíz).

Harina de maíz para polenta.

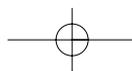
Harina fina: destinada a la elaboración de galletitas, alfajores, bizcochos, pan de maíz, emulsiones cárneas, etc. Siendo en todos los casos utilizadas como sustituto del almidón.

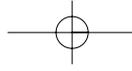
Harina zootécnica: destinada a la alimentación de cerdos, vacunos, aves de corral, como sustituto del maíz. Puede ser utilizada en la elaboración de balanceados.

Tabla 2 - Destinos del maíz en millones de toneladas en el año.

	Argentina	Brasil	EE.UU.
Molienda (Húmeda y Seca)	1	7	30
Alcohol	0	0	25
Forraje	5	36	140
Exportaciones	9	3	50
Total	15	46	245

Fuente: CAFAGDA, Año 2004





Germen: destinado a la extracción de aceites crudos para su posterior refinación, obteniendo aceite de maíz comestible.

Salvado: utilizado en la elaboración de galletitas y otros productos panificados con el objetivo fundamental de aumentar el contenido de fibra del producto.

Estructura del sector

El sector cuenta con 70 molinos con una capacidad instalada de 600.000 toneladas. La molienda del 2003 fue de 408.000 toneladas. El mercado nacional y exterior esta conformado en un 50% por harinas de maíz (polenta); un 25% para otros alimentos, como cerveza, snacks, corn flakes y aceite; y el restante 25% se usa para alimentación animal en la forma de harinas zootécnicas.

El proceso de molienda seca comprende procesos físicos destinados al desprendimiento, separación y rotura de las partes del grano: endosperma, germen y pericarpio.

Materia prima

La variedad de maíz utilizada es maíz tipo flint (colorado duro), de peso hectolítrico no menor a 78kg/hl, de calidad comercial grado 1.

Etapas del proceso de molienda seca (Gráfico 5)

- Recepción de la materia prima.
- Limpieza de la materia prima (granos quebrados, granos de otros cereales, hojas, piedras, metales, partículas pulverulentas).
- Acondicionamiento de los granos de maíz. Se realiza la humectación del cereal con agua mediante la utilización de rociadores intensivos. El maíz humectado se deja en reposo durante algunos minutos en un silo.
- Degerminación. En esta etapa se obtiene la primera rotura del grano de maíz, con la consecuente separación del germen y el endosperma. Una tecnología empleada es la degerminación por fricción (Sistema Beall). Con ésta se consigue la fractura del grano y el desprendimiento del germen y el salvado (cáscara).

- Refinación. Comprende la rotura de los trozos oportunamente degerminados y su posterior clasificación por tamaño (cernido) con el objetivo de obtener productos de un determinado calibre. Las máquinas utilizadas son banco de cilindros y cernidores planos.

- Acopio de producto, depósito y expedición.

Productos

Los productos obtenidos de la molienda seca en base a degerminación semihúmeda son:

* *Trozos de endosperma.* Gruesos, medios y finos. Su denominación y uso frecuente son Hominy Gritz (copos y cereales para desayuno).

* *Sémolas.* Según su calibración y su materia grasa pueden clasificarse en Sémolas para cervecera; Sémolas para expandidos (insumo para productos snacks); Sémolas para la elaboración de comidas, polenta; y Sémolas enriquecidas, fortificadas con vitaminas y minerales.

* *Harinas.* Según su calibración (granulometría menor a 400 micrones) se obtiene: Harina fina de maíz; Harina para galletitería; Harinas para infantes, y Harinas para pastas.

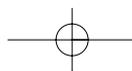
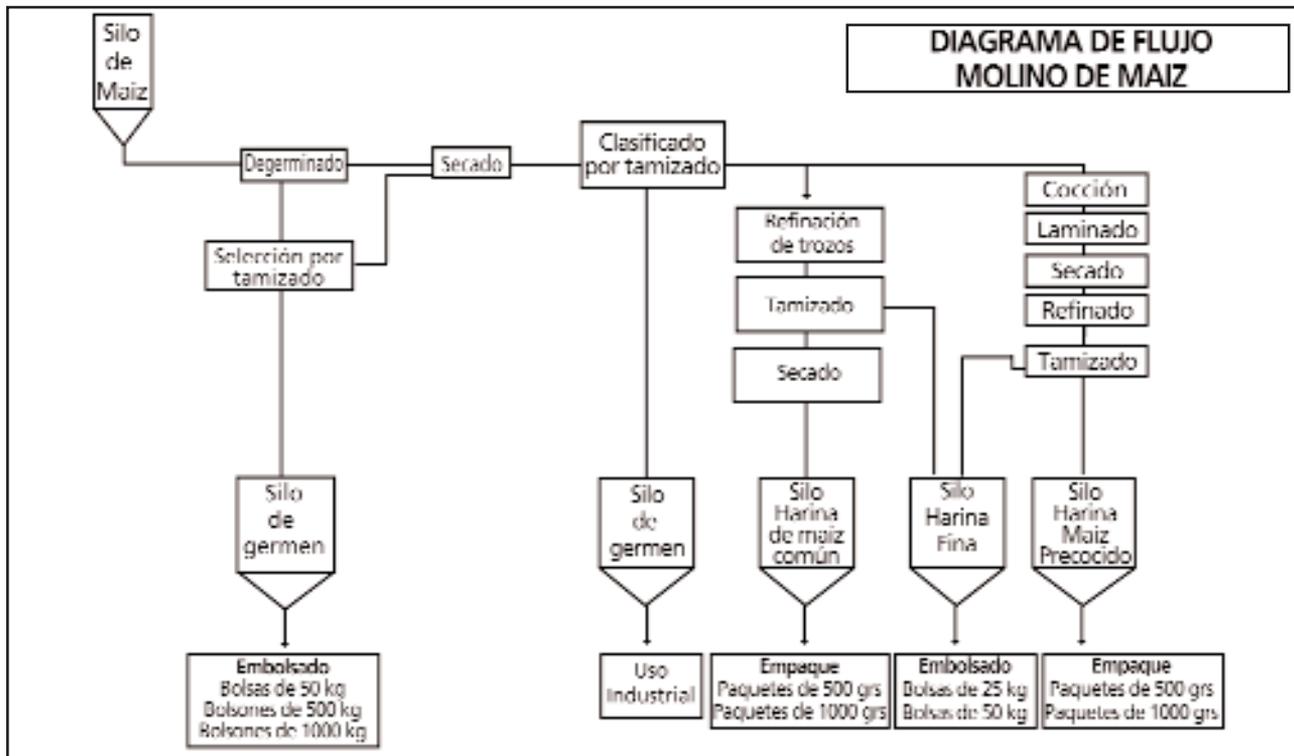
* *Germen.* Destinado a la extracción de aceites crudos para su posterior refinación, o incorporado a sub-productos como factor de adición de altas calorías.

* *Salvado.* Insumo para la elaboración de galletitas, snacks y otros productos panificados.

* *Harina para alimentación animal.* Para la elaboración de alimentos balanceados.

Bibliografía

- Álvarez A., "Estudios sobre el sector agroalimentario. Componente B: Redes Agroalimentarias. Tramas. B-10 La industria de maíz en la Argentina", CEPAL, Buenos Aires, marzo de 2003.
- Álvarez A., "La Visión de la Molienda Húmeda", Mundo Maíz, Bs. As., junio de 2004.
- Dirección Nacional de Alimentación, "Análisis de la cadena de edulcorantes", SAGPYA, Buenos Aires, junio de 1998.
- Franco, D.; "Análisis de Cadena Alimentaria. Aceite de Maíz", Dirección Nacional de Alimentación SAGPYA, Buenos Aires, agosto 2004.
- Lavarello P., "Estudios sobre el sector agroalimentario. Componente B: Redes Agroalimentarias. Tramas. B4 La trama de maíz en la Argentina", CEPAL, Buenos Aires, Marzo de 2003





Mejoramiento genético de maíz y su trayectoria en la Argentina

Guillermo H. Eyherabide

La Argentina es un país rico en diversidad genética de maíz, a punto tal que se han descrito en su territorio más de 40 razas de maíces autóctonos. Las zonas del país más ricas en variabilidad genética son las del noroeste y noreste. Como veremos más adelante, este reservorio de variabilidad no constituye la base genética del maíz cultivado de manera comercial, pero mantiene un valor estratégico para los programas de mejoramiento actuales y futuros. En el caso de este cereal, la ubicación en la misma planta de estructuras florales de distinto sexo permite la aplicación de una variada gama de métodos de mejoramiento y de producción de semilla.

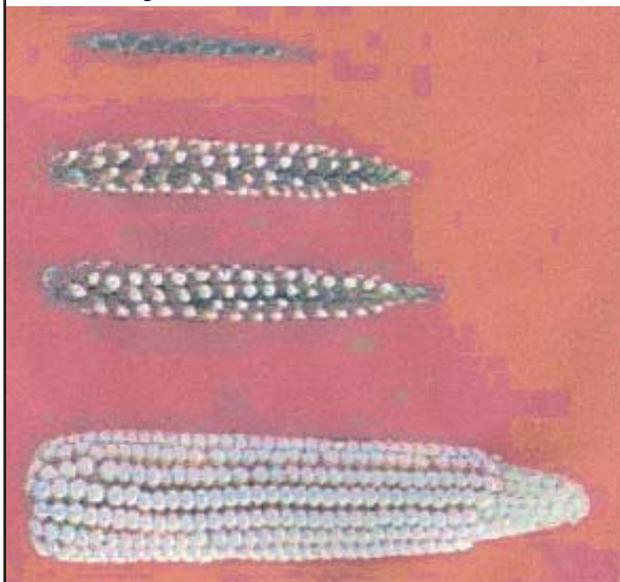
Bases del mejoramiento genético

El mejoramiento genético debe entenderse como un proceso incremental y continuo de búsqueda de nuevas recombinaciones de genes que permitan disponer de un material que exprese mayores niveles de rendimiento, calidad, tolerancia a condiciones de estrés, etc. Se basa en la aplicación de selección artificial, consistente en la selección deliberada de un grupo de individuos, que serán los progenitores de la siguiente generación.

El mejoramiento genético de maíz más simple ha sido el realizado durante siglos por los agricultores en forma masal, al seleccionar por sus características externas las espigas o granos que reservarían para la siembra del año siguiente (ver Foto 1).

Foto 1 - Maíces antiguos y modernos.

Maíz teosinte (arriba) y otros maíces más modernos. A través de los siglos de mejoramiento humano, se ha incrementado el número de granos, de 60 a 500 por mazorca, y se pasó de 2,5 cm a 30 cm de longitud.



Durante el siglo XX, el mejoramiento de la especie tomó un impulso muy importante gracias a los avances científicos de la época.

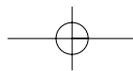
El desarrollo de híbridos

En el caso del maíz, los trabajos de Shull y de East a principios del siglo XX en los EE.UU. constituyeron un hito y fueron determinantes de la futura orientación del mejoramiento. Estos autores demostraron que una población o variedad de maíz estaba compuesta por una colección heterogénea de individuos, a partir de los cuales era posible generar mediante sucesivas autofecundaciones (una planta fecundada con su propio polen), líneas endocriadas homogéneas y homocigotas. Estas líneas mostraban disminución de vigor y rendimiento (fenómeno denominado depresión por endocria), pero los híbridos resultantes del cruzamiento entre líneas mostraban vigor y rendimientos similares o superiores (llamado heterosis o "vigor híbrido") a los de las poblaciones de las que se derivaban las líneas.

Pese a haber sido conocida a fines del siglo XIX y utilizada extensivamente en el desarrollo de cultivares, resulta sorprendente que las bases genéticas de la heterosis no hayan sido completamente dilucidadas. Su existencia ha intentado explicarse mediante diferentes hipótesis basadas en modelos de genética cuantitativa, y más recientemente tratando de relacionarla con modificaciones a nivel de ADN y en términos de balance metabólico, entre otras.

Afortunadamente, la falta de un conocimiento acabado sobre las causas de la heterosis no ha impedido el desarrollo de híbridos cada vez más productivos y de rendimiento más estable. Ciertos conocimientos, como el de que la heterosis puede ser razonablemente explicada en términos de un modelo de efectos génicos aditivos y de dominancia parcial a completa, y el concepto de que, en general, los híbridos más productivos resultan del cruzamiento entre





líneas progenitoras que son genéticamente más diferentes, ha servido como criterio básico de organización y funcionamiento de los programas de mejoramiento de maíz.

La aplicación práctica del método de mejoramiento por endocria e hibridación fue dificultada por la escasa productividad de semilla de las líneas progenitoras y consecuentemente el alto costo de la semilla. Esta sería limitación práctica impidió la adopción del método hasta que en 1918 Jones propuso la producción de híbridos dobles en lugar de híbridos simples entre líneas endocriadas. Ello permitía superar las limitaciones de rendimiento de semilla, ya que la semilla destinada al productor resultaba del cruzamiento entre dos híbridos simples cuya mayor producción (producto de la heterosis) permitía generar y vender semilla híbrida a precios razonables. (Ver Figura 1)

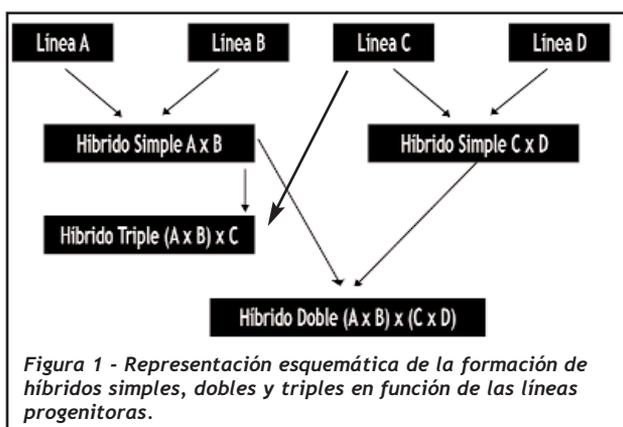


Figura 1 - Representación esquemática de la formación de híbridos simples, dobles y triples en función de las líneas progenitoras.

La correcta aplicación del método de endocria e hibridación permitió la producción repetida de semilla híbrida sin cambio genético y el aprovechamiento del fenómeno de la heterosis. A diferencia de las variedades de libre polinización, cuya producción puede ser utilizada como semilla por el propio agricultor, la utilización de semilla híbrida requería la compra de ésta año tras año. Esta desventaja resulta ser menos importante que la ventaja del esperable mayor rendimiento de los híbridos respecto a las variedades de polinización libre. Esta condición no reside en el simple hecho de la naturaleza híbrida de la semilla, sino que depende de la constitución genética de las líneas utilizadas como progenitoras del híbrido. Ello hace necesario implementar métodos de evaluación y de selección, no sólo de los híbridos, sino también de sus líneas progenitoras.

El mejoramiento de maíz a finales del siglo XX

El mejoramiento genético de maíz a fines del siglo XX asimiló los desarrollos y avances en el conocimiento y la tecnología en diferentes áreas, tales como la genética, la biología molecular, la informática, la estadística, la ingeniería agrícola y la agronomía. Estos avances han transformado los programas de mejoramiento y aumentado dramáticamente su eficiencia, especialmente medida en términos de progreso genético por unidad de tiempo.

El grado de madurez o evolución de los programas comerciales de mejoramiento genético de maíz se refleja en el tipo de cultivar que generan. Así es como en los EE.UU. el principal producto hasta la década del '30 (en la Argentina hasta la década del '60) fueron las variedades de polinización libre. Posteriormente éstas fueron cediendo parte de su área sembrada a híbridos dobles (de cuatro líneas), luego a híbridos de tres líneas y finalmente a los híbridos simples de dos líneas (Figura 1). El desarrollo y adopción de los híbridos simples se vio dificultado o demorado durante mucho tiempo por el escaso rendimiento de las líneas progenitoras y el consecuente efecto sobre los costos de producción de la semilla. El mejoramiento de las líneas y el ajuste del manejo del cultivo (fertilización, riego) permitieron más tarde superar aquel problema.

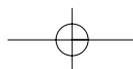
El proceso de mejoramiento

La magnitud de la heterosis en el rendimiento de maíz explica que el producto final por excelencia de los programas de mejoramiento sean cultivares híbridos. Ello implica que el proceso de mejoramiento de maíz (y otras especies de polinización cruzada que exhiben heterosis), a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de las especies autógamas (que se autopolinizan) de importancia agrícola, como el trigo, la soja, la avena o la cebada, abarque conceptualmente dos etapas: la primera consistente en el desarrollo y mejoramiento de progenitores de híbridos (líneas endocriadas), y la segunda de evaluación y selección de combinaciones o cruzamientos entre esos progenitores, que den lugar a cultivares híbridos de mejor comportamiento agronómico, producción y calidad. Estas dos etapas son implementadas de manera que permitan lograr cultivares en el más breve plazo.

La etapa de mejoramiento de progenitores de híbridos tiene como material de partida, por razones prácticas, a material genético que ya posee un comportamiento agronómico mínimamente aceptable. Generalmente se utilizan a tal fin híbridos entre líneas élite ("cruzamientos planeados") e incluso cultivares comerciales. Alternativamente pueden emplearse poblaciones más complejas.

El desafío del fitomejorador consiste en identificar y seleccionar individuos, dentro de esas poblaciones o materiales de partida, con una constitución genética o genotipo determinante de un comportamiento superior para el carácter o caracteres de interés. Desafortunadamente, en la mayoría de las situaciones, el mejorador debe basar su selección en el comportamiento observable de los individuos o fenotipo, el cual no sólo está condicionado por factores genéticos (heredables), sino también por factores ambientales (no heredables). Estos últimos afectan la eficiencia de la selección.

Por fortuna existen metodologías que ayudan al fitomejorador a discernir con mayor precisión el real mérito genético de los individuos que selecciona. Las técnicas de evaluación en ensayos con repeticiones y replicados en diferentes ambientes, la evaluación del comportamiento frente a plagas y enferme-





dades en condiciones de infestación artificial, la evaluación del comportamiento de progenies emparentadas, y la utilización de marcadores genéticos, son algunos de los instrumentos empleados por los mejoradores para aumentar la eficiencia de la selección.

Encuestas realizadas en 1999 a diferentes programas de mejoramiento y desarrollo de híbridos de maíz en la Argentina (INTA, no publicado), indican que se reconocen como principales factores limitantes de la producción al estrés hídrico, al MRCV (virus del Mal de Río Cuarto), a los insectos barrenadores y, entre las enfermedades foliares, a las royas. Otras adversidades que también pueden afectar el rendimiento resultan más limitantes de la calidad de la producción. Tal es el caso de las enfermedades (podredumbres) de la espiga y la consecuente contaminación con micotoxinas (Tabla 1). Estos factores limitantes son tenidos en cuenta en las diferentes etapas de selección del material genético, buscando con ello aumentar no sólo el rendimiento, sino la estabilidad y calidad de la producción. Los avances registrados en el rendimiento de grano se ven acompañados, entonces, por mejoras en otros caracteres de importancia agronómica. Las poblaciones más frecuentemente empleadas como fuentes de extracción de líneas son los cruzamientos planeados (híbridos simples, dobles, retrocruzas) y, en menor medida, sintéticas (poblaciones de base genética estrecha generadas del cruzamiento y recombinación de líneas) e híbridos comerciales.

En general, los métodos y estrategias que se aplican en los programas de mejoramiento genético de maíz en la Argentina responden a las características y objetivos de programas de corto y largo plazo. Los objetivos de corto plazo guardan relación con la obtención del producto final del mejoramiento, es decir cultivares comerciales, mientras que los de largo plazo tienen que ver con la ampliación de la base genética, la creación y mejoramiento de poblaciones manteniendo la variabilidad de manera de lograr una tasa de progreso genético sostenible.

Estas dos características conceptuales, sin embargo, están presentes en todo programa integral de mejoramiento, predominando los objetivos de corto o largo plazo según las particularidades de cada uno.

Entre las características más tenidas en cuenta durante el desarrollo de líneas endocriadas, la sincronía floral, tomada como uno de los indicadores de tolerancia a alta densidad de plantas, es una de las más importantes en la selección, junto con el rendimiento per se y el comportamiento frente a enfermedades. Les siguen en importancia aspectos de mor-

fología de espiga, arquitectura de planta y tolerancia a insectos (Tabla 2)

Tabla 1 - Factores limitantes del cultivo de maíz en diferentes regiones del país (Z.T. Central o zona templada central, Z.T. Sur o zona templada sur) y posible evolución de su importancia futura, evaluados por una escala de 1 a 10 (1= mayor importancia; 10= menor importancia)

Limitante	Z.T. Central		Z.T. Sur	
	Actual	Futuro	Actual	Futuro
Sequía	1.2	1.7	1.0	1.0
Barrenador	3.5	3.7	4.5	4.5
Orugas	6.5	6.0	5.5	5.5
MRCV	1.7	1.7	2.7	2.3
Corn stunt	6.0	5.7	6.0	6.0
Roya	3.7	3.7	2.5	3.5
Tizón	8.5	8.5	8.0	8.0
Podredumbre basal	3.0	2.0	2.0	2.0
Enfermedad espiga	4.3	4.0	3.0	2.5

Tabla 2 - Importancia atribuida por los fitomejoradores a caracteres de líneas en diferentes etapas de desarrollo (filiales tempranas o generaciones de líneas autofundadas con bajo nivel de endocria; filiales tardías o generaciones de líneas autofecundadas con altos niveles de endocria) la escala utilizada es de 1 (mayor importancia) a 3 (menor importancia)

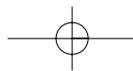
Caracteres	Filiales tempranas	Filiales tardías
Rendimiento per se	1,2	1,5
Caract. Florales	1,7 a 2,2	1,2 a 2,2
Morfología de planta	2,0 a 2,5	1,7 a 2,2
Calidad de grano	1,7	1,7
Daño insectos	2,5	2,5
Adapt. Alta densidad	1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
Sanidad foliar	1,0	1,0
Sanidad espiga	1,2	1,5
Enfermedades virales	1,0	1,0

La investigación y mejoramiento de maíz en la Argentina

Labor pionera

La historia de la investigación en maíz en la Argentina comienza a inicios del siglo XX. Desde entonces, el mejoramiento genético de maíz ha tenido un impacto sin duda espectacular en el desarrollo del cultivo. El material de partida para los primeros logros constituyó el aporte de los propios agricultores, muchos de ellos inmigrantes. Los agricultores fueron "modelando" las variedades autóctonas mediante la selección de tipos de plantas y espigas que mejor se adaptaban a cubrir sus necesidades de alimentación. Este proceso de selección, aunque simple y poco eficiente, con el transcurso de las generaciones condujo a la diferenciación de poblaciones o tipos de maíces mejor adaptados y muchas veces referenciados a ámbitos geográficos determinados. La materia prima para esta selección simple fue la inmensa variabilidad disponible en el territorio argentino, la que posteriormente se enriqueció con variedades traídas consigo por los inmigrantes europeos.





Pero la gran contribución a esta etapa fundacional surgió de la visión y el trabajo de distintos profesionales de la agronomía, cuyos antecedentes se sitúan a mediados de la década de 1910. La Chacra Experimental que tuvo una trayectoria más extendida en el mejoramiento genético fue la de Pergamino. En esta región, hacia 1915, el maíz ocupaba el 50% del área dedicada a cultivos. Para entonces el Ing. Agr. Horacio Castro Zinny, citado por Rossi y Luna (1968) fundamentaba la necesidad de investigar en maíz considerando que el grano exportado desde la Argentina no satisfacía suficientemente los requerimientos de calidad de sus compradores. Alemania importaba maíz argentino para hacer alcohol, con lo cual se proponía investigar en este tema argumentando que estas exportaciones permitirían valorizar la producción y mejorar la rentabilidad de los productores. Para lograr esto último se hacía necesario *"buscar tipos más productivos"*, así como generar información sobre *"sistemas de cultivo y fisiología"*. Entre los objetivos de selección, además de la mejora en el rendimiento, se deseaba elevar el contenido de proteína del grano, a fin de mejorar su calidad para la alimentación de bovinos; desarrollar variedades de ciclo más corto, a fin de *"evitar por escape los daños de langosta y de sequía"*, y generar *"debido a que el maíz flint (entre otras aplicaciones, el que se utiliza para elaborar cereales de desayuno) no da espigas pesadas, maíces con mayor número de espigas"*. También se hacía mención a la necesidad de disponer de variedades cultivadas con un mayor nivel de pureza o identidad genética, al expresar *"que las llamadas 'variedades' de maíz no son tales, siendo necesario aún definir las"*.

Estos objetivos de investigación no fueron objeto de atención exclusiva por parte de la Chacra Experimental de Pergamino. Otras instituciones públicas y privadas también contribuyeron al desarrollo de variedades, entre ellas la Escuela Agrícola de Casilda; el Instituto Fitotécnico de La Estanzuela de la República Oriental del Uruguay; la Estación Experimental Manfredi, y la Estación Experimental de Guatraché.

En esta etapa fundacional del mejoramiento el método más empleado fue la selección fenotípica -sin pruebas de progenie- primeramente sobre las poblaciones desarrolladas por los agricultores, y más tarde sobre nuevas variedades o sus cruzamientos.

La Argentina de principios del siglo XX no subestimó las posibilidades de explotar el fenómeno de la heterosis para la producción de semilla híbrida. Para 1925 se disponía de una colección de casi 1300 líneas endocriadas. Recién en 1937 se evalúan los primeros híbridos

entre las líneas generadas por la Chacra Experimental de Pergamino.

En la década de 1940, la producción comercial de semilla híbrida de maíz alentó, como en los EE.UU., el surgimiento de criaderos privados, como "La Lucila", "El Pelado S.A.", "Cargill S.A.". Años más tarde, un número importante de empresas se dedican a producir semilla híbrida. Comercialmente, la producción de semilla híbrida se inicia a principios de la década de 1950. Su difusión alcanzaba el 20% a fines de esa década, y aumentaba al 90% a fines de los años '60 (A. Coscia).

Además de los avances en mejoramiento, la investigación nacional en otras ramas de la genética vegetal se consolida con la creación del Instituto de Genética de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires, en 1932. En 1944 se crea el Instituto de Fitotécnica de Castelar, donde el Ing. Luis Mazoti investiga sobre genética citoplasmática. Posteriormente continuará investigando en este y otros campos desde el Instituto de Santa Catalina, dependiente de la Universidad Nacional de La Plata.

La gran diversidad genética en maíces autóctonos fue objeto de numerosas investigaciones encaminadas a describirlos, establecer su origen, conservarlos y determinar su potencial de utilización en el mejoramiento de la especie. Los primeros estudios de descripción y clasificación de razas de maíz correspondieron a las de la zona de la Quebrada de Humahuaca y estuvieron a cargo de Holmberg (1904) y Marino (1934). La elección de esta región de la Argentina se debió a su proximidad con el centro de dispersión ubicado en la Meseta Peruano-Boliviana.

Foto 2 - Derecha: Para mejorar la precisión de la evaluación del comportamiento frente a enfermedades, un operario inocula en forma artificial con un patógeno que provoca podredumbre de la espiga.

Izquierda: Resulta necesario evaluar el comportamiento del material en distintas condiciones de manejo del cultivo. La mayor tolerancia a crecientes densidades de planta es una de las razones que explican el progreso genético alcanzado.

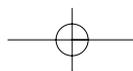




Foto 3 : La evaluación de numerosos genotipos se realiza en experimentos siguiendo diseños estadísticos que permiten obtener información confiable respecto al comportamiento relativo de los distintos materiales.

Posteriormente Parodi (1959) extendió los trabajos de clasificación de maíces indígenas, tanto del NOA como del NEA de la Argentina. Debido a que esta riqueza genética corría el riesgo de perderse y ser reemplazada por maíces de tipo agronómico más apto para el cultivo, o bien por el cultivo de otras especies, se hicieron esfuerzos para coleccionar y preservar estas variedades locales en bancos de germoplasma. Entre 1951 y 1961 se recolectaron maíces de la raza Cateto (Colorado y Amarillo) en el área pampeana tradicional del cultivo. Años más tarde las recolecciones abarcaron diferentes regiones del país. Con el apoyo de organismos internacionales, en 1969 se creó el Banco de Germoplasma de Maíz del INTA Pergamino, que se constituyó en uno de los primeros bancos de recursos genéticos de Sudamérica.

Diversos estudios trataron de relacionar el origen o procedencia de las diferentes razas. En este sentido Brieger *et al.* sostuvieron la inexistencia de relación genética entre las razas de maíz ubicadas en el NEA con las del NOA, con la sola excepción de una raza de pisingallo (pop), y la derivación de las razas cultivadas de grano flint, tanto de la región pampeana como del Uruguay, de la zona costera que se extiende desde Brasil hasta la Argentina. Luna *et al.* (1964) concluyeron que las modernas variedades de maíz cristalino derivarían de maíces indígenas de la Argentina y de regiones limítrofes, y no de maíces introducidos por los inmigrantes europeos. Estudios citogenéticos conducidos por Julio Safont Lis (1971) aportaron evidencias en ese mismo sentido. Deben reconocerse, además, los profundos estudios de descripción y clasificación de la variabilidad racial en maíces argentinos en base a caracteres morfológicos, realizados por un numeroso grupo de investigadores, entre quienes pueden destacarse Abiuso, Cámara Hernández, Miente Alzogaray, Salhuana, Safont Lis, Torregrosa, Sevilla Panizzo, Solari y Ferrer, entre otros. A nivel molecular, Pfluger y Schlatter (1996) analizaron la variabilidad entre y

dentro de razas y colecciones de maíz a partir del uso de marcadores isoenzimáticos.

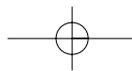
Más recientemente, en la década de los '90, las investigaciones se orientaron a determinar el potencial de uso de las colecciones de maíces nativos. En tal sentido es importante destacar que esas poblaciones autóctonas, al haber estado sometidas a la presión de selección por diferentes factores durante innumerables generaciones, podrían haberse constituido en reservorio estratégico de genes útiles para asegurar el presente y futuro del cultivo. Existen antecedentes exitosos de búsqueda de genes que confieren resistencia a factores adversos, como a enfermedades -Mal de Río Cuarto causado por el MRCV; mancha gris de la hoja, por *Cercospora zeae*; podredumbres de espiga causadas por *Fusarium graminearum* y *F. moniliforme*, y corn stunt.

Otros trabajos, algunos de ellos ejecutados por redes de instituciones oficiales de diferentes países, permitieron clasificar las variedades locales por patrones de heterosis para posteriormente diseñar estrategias más precisas de utilización de ese germoplasma nativo en los programas de mejoramiento. También se dedicaron esfuerzos a determinar el mérito de estos materiales para mejorar características forrajeras, así como también atributos de calidad de grano. En una investigación conjunta entre Iowa State University y el INTA Pergamino se estudiaron características del almidón en variedades locales argentinas. Se detectó considerable variabilidad en las propiedades térmicas del almidón entre y dentro de las colecciones de banco, así como valores medios que resultan inusuales en el germoplasma actualmente en cultivo y que resultarían de gran interés para la industria de molienda húmeda.

Avances logrados por el mejoramiento genético en la Argentina

Se estima que la contribución del mejoramiento genético al incremento en el promedio nacional de rendimiento de maíz por hectárea en la Argentina en los últimos treinta años fue de aproximadamente el 50%. Sin embargo, este aporte debe ser considerado en conjunto con los avances en el manejo del cultivo, ya que éste es parte del ambiente donde los logros genéticos pueden expresarse. Existen numerosas estimaciones de la ganancia genética en nuestro país utilizando diferentes metodologías (Tabla 3). Una serie de trabajos analizaron la evolución en el rendimiento de un grupo de cultivares en función del año de su liberación al mercado, utilizando para ello experimentos específicos. Nider y Mella estimaron ganancias genéticas de 93, 109 y 82 kg/ha/año para el período 1961-1979, 1970-1978 y 1949-1984. Las estimaciones obtenidas por Presello *et al.* (1997) fueron 91 y 72 kg/ha/año en condiciones de riego y de estrés hídrico, respectivamente, para el período 1961-1995. Novoa comparó un híbrido liberado en 1980 con otro liberado en 2000, bajo dos condiciones de ambiente: baja densidad, sin fertilizantes vs. alta densidad con fertilizante. El híbrido más moderno superó en rendimiento al híbrido de los años '80 en 38% y 62%, bajo





las condiciones de baja densidad- sin fertilizante y alta densidad-con fertilizante, respectivamente. Los nuevos híbridos no sólo poseen mayor capacidad de rendimiento, sino también adaptación para aprovechar más eficientemente los recursos del ambiente.

Otra manera de cuantificar la ganancia o progreso genético es utilizar series históricas de ensayos comparativos de rendimiento, en los que interviene al menos un híbrido testigo común a todos los experimentos y analizar por regresión el rendimiento de nuevos híbridos en función de los años transcurridos desde el inicio de la serie. Empleando este procedimiento y aplicando un modelo lineal, Eyherabide y Damilano (2001) estimaron una tasa de ganancia de 169 kg/ha/año entre 1979 y 1999, aunque un modelo cuadrático presentaba una mejor descripción de la evolución del rendimiento. Los mismos autores ajustaron líneas de regresión separadamente para el período 1979-1989 y 1989-1999 que resultaron en estimaciones de 67 kg/ha/año y 249 kg/ha/año, respectivamente, estadísticamente diferentes entre sí. Los autores especulan sobre el impacto del desarrollo de híbridos simples en la aceleración de la tasa de ganancia en la última década.

La biotecnología aplicada al mejoramiento de maíz

La generación o incorporación de variabilidad necesaria para que exista progreso genético se realiza fundamentalmente mediante cruzamientos, y menos frecuentemente mediante mutagénesis (inducción de cambios en el genoma por exposición a agentes químicos o físicos, como por ejemplo radiaciones). Las posibilidades de cruzamiento sexual no son ilimitadas, sino que están confinadas a la propia especie y a ciertas especies relacionadas utilizando técnicas adecuadas. La transformación genética permite sobrepasar a las barreras a los cruzamientos sexuales e incorporar genes de cualquier organismo (animal, vegetal, microorganismo) a cualquier especie que sea objeto de mejoramiento.

El ejemplo más conocido en el ámbito agrícola de la eliminación de las barreras entre especies es la incorporación al pool génico del maíz, del gen "Bt", propio de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Este transgen es capaz de conferir resistencia al barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*) y a otros insectos que limitan el rendimiento del cultivo. Una vez logra-

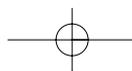
da la transformación y verificada la expresión del transgen Bt de manera estable y en los niveles adecuados para defenderse del ataque de la plaga, se aplican métodos convencionales (cruzamiento y retrocruzamiento) para transferir el gen Bt a líneas elite.

La utilización de marcadores moleculares (en términos generales, secuencias de ADN ubicadas en el genoma en las cercanías de genes que controlan caracteres de interés) constituye otro de los grandes aportes de la biotecnología a la selección. Estos marcadores se detectan en muestras de tejido vegetal, mediante técnicas de amplificación de ADN u otras técnicas moleculares de detección (Carrera, 2004). La ventaja en la utilización de marcadores moleculares en el mejoramiento se deriva de que la presencia o ausencia de ese marcador esté asociada a una característica genética de interés (Ferreira y Grattapaglia, 1996). Esta asociación entre el carácter genético y el marcador reside en la existencia de proximidad física (y por lo tanto de ligamiento genético entre ambos) o cuando la secuencia de ADN del marcador es parte del gen que se pretende marcar. Cuanto mayor sea la proximidad (o identidad) de las secuencias del ADN correspondientes al gen y su marcador, o dicho de otra manera, mayor sea el ligamiento genético entre ellos, mayor será la utilidad del marcador en programas de selección asistida. Una de las aplicaciones más importantes de los marcadores moleculares es en la selección de características de difícil evaluación en condiciones de campo, o imposibles de detectar a nivel de planta entera antes de la floración. Otra aplicación frecuente de los marcadores moleculares es en la detección de individuos genéticamente modificados (transgénicos) con fines de certificación y trazabilidad.

Los avances en el cultivo de tejidos han posibilitado el desarrollo de sistemas de selección "in vitro" para características no fácilmente obtenibles mediante métodos convencionales aplicados a la planta entera. En un sistema de cultivo celular es factible seleccionar células por su resistencia a un agente tóxico, por ejemplo herbicidas o toxinas fúngicas. La selección in vitro presenta varias ventajas, como la de utilizar un medio apropiado para identificar y aislar mutantes favorables y la de permitir el uso eficiente de agentes selectivos cuya purificación

no es posible en grandes cantidades. En estos sistemas de selección la unidad de selección no es el individuo o sus progenies, sino el menor número de células en una población que pueden, independientemente, dar origen a un fenotipo (expresión del genotipo) alterado. Como todas las metodologías, la selección in vitro presenta limitaciones, ya que sólo puede emplearse para características controladas por un gen y que se expresen a través de un fenotipo fácilmente seleccionable -tales como genes de resistencia a herbicidas, toxinas de microorganismos o iones

Autores	Periodo	Progreso Genético	
		Kg.ha ⁻¹ año ⁻¹	%
Nider y Mella, 1980	1961-1979	93	
Nider y Mella, 1980	1970-1978	109	
Mella et al. 1984	1949-1984	82	1,1
Eyherabide y Damilano, 1992	1979- 1988	70	1,1
Eyherabide et al. 1994	1979- 1991	112	1,8
Presello et al, 1997	1961-1995	81	1,4
	1979-1998	169	2,9
Eyherabide y Damilano, 2001	1979-1988	67	1,1
	1989-1998	249	3,7





metálicos- y está circunscripta a genotipos que poseen capacidad para regenerar plantas completas y fértiles a partir de cultivos celulares (totipotencia). Por otra parte debe asegurarse que el fenotipo mutante seleccionado a nivel celular se exprese a nivel de planta entera. Algunos ejemplos de aplicación exitosa de la selección in vitro son el desarrollo de genoti-

pos con resistencia a los herbicidas, preferentemente hacia aquellos que tengan mayor efectividad contra las malezas, menor toxicidad y menor potencial contaminante del suelo y acuíferos. La resistencia a herbicidas se debe a la selección de células mutantes en las que se ha modificado, por ejemplo, una enzima que no puede ser bloqueada por la molécula herbicida, o bien de mutantes que provocan una sobre-expresión y síntesis de la enzima nativa o normal. Otros casos de aplicación de selección in vitro tienen como objetivo el aumento del valor nutricional del grano, alterando el metabolismo de aminoácidos.

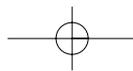
La incorporación de la biotecnología en los programas de mejoramiento de maíz en la Argentina ha permitido la liberación al mercado de híbridos transgénicos. La CONABIA es la institución que regula en nuestro país las evaluaciones de organismos genéticamente modificados (OGM) (Ver Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Abril 2004). Hoy se dispone a nivel comercial de cultivares genéticamente modificados que poseen resistencia a *Diatraea saccharalis* y *Spodoptera frugiperda*, conferida por el gen Bt, y otros con resistencia a herbicidas (glifosato, glucosinato de amonio). La disponibilidad de híbridos Bt constituye una alternativa al control químico del barrenador, que ha posibilitado la incorporación del cultivo de maíz de segunda siembra o de siembra tardía en los sistemas de producción. La adopción de cultivares Bt se estima por encima del 50% de la semilla híbrida comercializada (ver también página 74: "Biotecnología en Maíz").

Expectativas futuras
El maíz fue y es considerado básicamente un grano forrajero. Sin embargo sus propiedades también concitan un creciente interés por parte de la industria, que encuentra en este grano una materia prima apta para la producción de una amplísima gama de productos y derivados con aplicaciones en la industria alimentaria, textil, de biocombustibles (etanol), papelería, del plástico, etc.

Tabla 4 - Permisos otorgados por CONABIA durante 2003 para liberar materiales genéticamente modificados.

Evento	Objetivo	Liberación	Frecuencia
TC1507	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio	Invernáculo	1
NK603+MON810	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glifosato	A campo	6
MON863+NK603	Resistencia a coleópteros y tolerancia a glifosato	A campo	3
MON863	Resistencia a coleópteros	A campo	5
NK603	Tolerancia a glifosato	A campo	13
LY038-01	Alto contenido de lisina	A campo	
LY038-01+MON810	Alto contenido de lisina y resistencia a lepidópteros	A campo	2
MON84006	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glifosato	A campo	1
LY038-01+LY049-01	Alto contenido de lisina	A campo	1
MON810+MON863	Resistencia a coleópteros y lepidópteros	A campo	1
Eventos serie LVI ²	Resistencia a lepidópteros	A campo	1
TC6275	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio	A campo	1
TC1507	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio	A campo	6
TC1507+NK603	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio y glifosato	A campo	1
Construcción pBLUESS1/UBN y otras	Resistencia a Mal de Río Cuarto	A campo	1
Construcción PV-ZMIR555 y 556	Resistencia a lepidópteros	A campo	1
Construcción PV-ZMIR1526, 1527 y 1528	Resistencia a lepidópteros	A campo	1
PHP17658	Resistencia a coleópteros	A campo	1
Plásmido 1/662	Resistencia a coleópteros	A campo	1
MON88017	Resistencia a coleópteros y tolerancia a glifosato	A campo	1
M3210 y M3243	Resistencia a lepidópteros	A campo	1
MIR152 y MIR162	Resistencia a lepidópteros	A campo	1
MIR152 + Bt11	Resistencia a lepidópteros	A campo	1
MIR152 + 3210M	Resistencia a lepidópteros	A campo	1
MIR611WR y MIR604WR	Resistencia a coleópteros	A campo	1





La existencia de esta gran diversidad de usos posibles del maíz plantea la necesidad de considerar diferentes parámetros de calidad del grano, y el mejoramiento genético es una herramienta útil para el desarrollo de cultivares con características especiales. Existen, sin embargo, algunas prevenciones respecto del retorno económico posible de lograr en programas de mejoramiento genético destinado a los mercados de calidad, fundamentalmente por el tiempo que demanda la obtención de híbridos comerciales y la volatilidad de aquellos mercados que impide asegurar el sostenimiento de la demanda.

En nuestro país, el programa de mejoramiento de maíz del INTA posee un componente dedicado específicamente a la calidad del grano, que contempla el desarrollo de especialidades en función de las características del almidón y del aceite. En ese contexto se han desarrollado líneas e híbridos de tipo waxy, es decir que poseen almidón compuesto estructuralmente por la fracción ramificada (amilopeptina) y sólo trazas del componente lineal (amilosa). También se están generando líneas de alta amilosa (50%-70% de amilosa en el almidón).

Mediante hibridación y selección se han generado líneas y variedades experimentales no-OGM (sin recurrir a la incorporación de transgenes) con perfil de ácidos grasos diferenciado. A partir de materiales con 40 a 44% de ácido oleico se están seleccionando segregantes con niveles cercanos al 70%. De manera similar se desarrollan materiales con bajo contenido de ácidos grasos saturados. La disponibilidad de material genético con las características alcanzadas hasta el momento permitiría a la industria producir un novedoso aceite de maíz con una calidad nutricional aún superior a la actualmente disponible.

Por otro lado, los programas de mejoramiento del sector privado han lanzado al mercado maíces de alto contenido de aceite (superior a 8%), destinados fundamentalmente al consumo animal y la exportación (ver sección sobre Nutrición Animal). La incorporación de maíz de alto aceite en raciones para alimentación animal aumenta la cantidad de energía por unidad de peso de alimento, además de otros efectos benéficos adicionales por la mayor concentración y calidad proteica.

El dinamismo en los desarrollos biotecnológicos queda evidenciado si se tiene en cuenta que la CONABIA otorgó en 2003 más de 50 permisos para evaluación a campo o en invernáculo de 27 eventos individuales (transgenes) o combinaciones de ellos, destinados a conferir resistencia a insectos lepidópteros, coleópteros, a la virosis Mal de Río Cuarto y a ciertos herbicidas (glucosinolato de amonio, glifosato)(Tabla

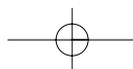
4). En años anteriores el organismo había otorgado permisos para evaluar eventos que modificaban la composición de aminoácidos del grano.

Consideraciones finales

El mejoramiento genético y la investigación en maíz en la Argentina posee una vasta trayectoria que estuvo a la altura de los avances científicos logrados durante el siglo XX. Las estimaciones de aumento del rendimiento promedio nacional del cultivo reflejan desde hace casi veinte años mayores tasas de incremento que las observadas a nivel mundial. Aproximadamente el 50% de ello ha resultado del trabajo fitotécnico. El desarrollo futuro de la competitividad de la cadena de valor de maíz requerirá en los próximos años del esfuerzo continuado de los programas de mejoramiento, tanto privados como públicos, y orientar los objetivos de la selección hacia una producción sustentable y de calidad para mercados cada vez más exigentes.

Bibliografía sugerida

- Burgos, J.J., 1996. Entrega del Premio Bolsa de Cereales 1995. In: Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo L, Nº 18:12-16.
- Carrera, A, Tranquilli, G y Helguera, M, 2004 "Aplicaciones de los marcadores moleculares", en "Biotecnología y Mejoramiento Vegetal", Echenique, Rubinstein y Mroginski, ediciones INTA.
- Coors J. G., 1999. Selection methodologies and heterosis. In: Genetics and exploitation of heterosis in Crops. Editors. J.Coors and S. Pandey, páginas 225-245. American Society of Agronomy, EEUU
- Eyherabide G.H., A. L. Damilano, 2001. Comparison of genetic gain for grain yield of maize between the 1980s and 1990s in Argentina. *Maydica* 46: 277-281
- Ferreira M.A., D. Grattapaglia, 1996. Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética. EMBRAPA. Brasília, Brasil.
- Gutierrez, M.B. 1991. Políticas en genética vegetal. In: El desarrollo agropecuario argentino, páginas 669-694. Editor: Osvaldo Barsky. Grupo Editor Latinoamericano, Bs. As.
- Hallauer A. R., 1990. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica* 35:1-16
- Hallauer, A. R., J.B. Miranda Filho, 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd. Edition. Iowa State University Press. Ames, Iowa, EEUU.
- Janik J., 1999. Inbreeding depression and heterosis. In: Genetics and exploitation of heterosis in Crops. Editors. J.Coors and S. Pandey, páginas 319-333. American Society of Agronomy, EEUU.
- Jones D.F., 1918. The effects of inbreeding and crossbreeding upon development. *Connecticut Agric. Exp. Stn. Bull.* 207:5-100
- Mella R., F. Nider, A. Sanguinetti, 1984. Evolución de la ganancia genética en el rendimiento, prolificidad y quebrado del tallo de veintidós cultivares comerciales de maíz (1949-1984). Actas del III Congreso Nacional de Maíz. AIANBA, Pergamino, Argentina.
- Presello D., A. Céliz, S. Meira, E. Guevara, 1997. Comportamiento de híbridos de maíz liberados en diferentes épocas en condiciones de riego y sequía simulada. VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA, Pergamino, Argentina.
- Shull G.H., 1908. The composition of a field of maize. *Am. Breeders' Assoc. Rep.* 4:296-301.
- Shull G.H., 1909. A pure line method of corn breeding. *Am. Breeders' Assoc. Rep.* 5:51-59.



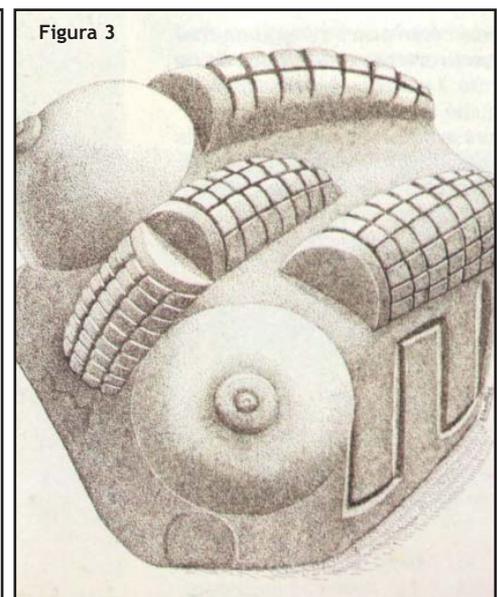
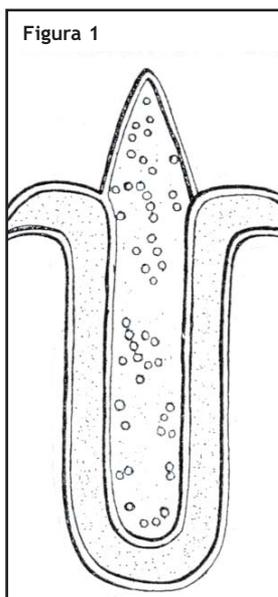


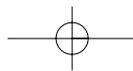
El maíz: su importancia histórica en la cultura americana

Martha Melgarejo

Entrelazados, imbricados, el maíz y el hombre americano han formado una unión milenaria en nuestro continente. Ha sido, y aún lo es, una simbiosis entre lo humano y lo divino, entre el alimento corporal y el espiritual. Desde siempre forma parte de las expresiones humanas relacionadas con la alimentación, la mitología, lo ceremonial, lo cosmogónico, las expresiones artísticas. Es así que diversas disciplinas de estudios se han ocupado de la milenaria planta para desentrañar sus orígenes, significados, aplicaciones e impacto económico, entre otros. Fue y es estudiada por botánicos, antropólogos, arqueólogos, historiadores del arte, químicos, sociólogos, fitomejoradores, economistas, etc.

Los botánicos han rastreado los orígenes de la planta del maíz, *Zea mays L.*, y elaborado diversas teorías al respecto. Lo más aceptado hasta la fecha dice que su cuna fue Mesoamérica, aunque algunos aún sostienen que pudieron haber existido algunas variedades en la actual zona peruana. Los estudios más actualizados señalan que el teosinte es el antecesor silvestre y/o un allegado al maíz que ha participado del origen del maíz cultivado. En el documento de la FAO "Origen, evolución y difusión del maíz" de R. L. Paliwal puede encontrarse una síntesis de los trabajos realizados sobre estos temas.





La presencia de restos de maíz en sitios arqueológicos ha permitido establecer fechas y así se han encontrado en el Valle de Tehuacán, México, unas doce razas diferentes del maíz (*Zea mays*), algunas originadas hace 7.000 años. Esta investigación fue realizada por un equipo multidisciplinario encabezado por el antropólogo Richard Stockton MacNeish⁽¹⁾, estudioso del origen de la agricultura en la América prehistórica.

En el Perú andino los restos más antiguos se han encontrado en la zona costera y datan también de varios miles de años. En Ayacucho-Huanta, MacNeish también realizó un amplio estudio buscando similitudes que dieran pistas sobre el surgimiento de la civilización en el territorio americano⁽²⁾.

El habitante de estas tierras nos ha dejado otros legados que nos muestran su pensamiento a través de expresiones plásticas diversas, tallas en las piedras, dibujos, pinturas, textilera, joyería, esculturas, arquitectura, cerámicas ceremoniales y utilitarias. Encontramos el maíz siempre presente en ellos. Estas expresiones nos hablan de sus mitos, sus dioses, de la creación del hombre. Es muy amplia la plasmación de sus ideas y los criterios morfológicos y materiales utilizados^(3; 4).

En Perú las más antiguas representaciones del maíz se han encontrado en dibujos grabados en piedras en Kotosh del período formativo, 1200 A.C. (Fig 1); en Chavín, 900 A.C., una representación de las fauces de un jaguar sosteniendo una mazorca (Fig 2) y en Pachacamac, 1000 A.C., una pequeña piedra que se enterraba como amuleto donde se aprecian senos (maternidad) y mazorcas (alimento), en una representación de Pachamama, Madre Tierra dadora de vida (Fig 3).

Los mochicas fueron grandes documentalistas de su época y así en vasijas cerámicas modelaron lo que conformaba su vida, las costumbres, los animales, los vegetales, el sexo. En una de estas representaciones pueden verse hombres preparando la chicha, bebida que se obtenía del maíz (Fig 4). También fueron destacados dibujantes y el maíz es representado muy frecuentemente, en la figura 5 se muestra

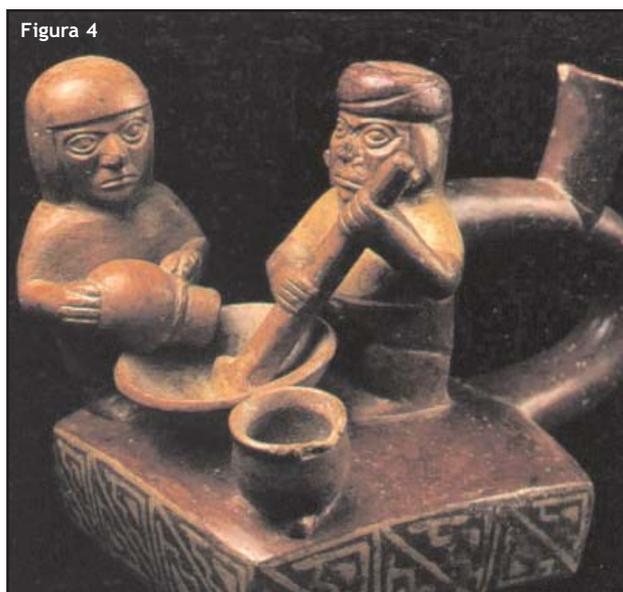


Figura 4

Figura 5

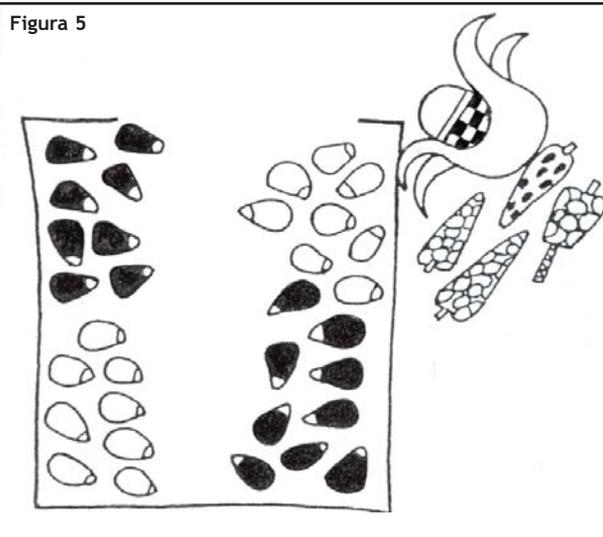


Figura 6

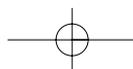


un grupo de granos dentro de un recipiente y algunas mazorcas. Los chimú también representaron maíces en sus cerámicos, encontrándose allí mazorcas pletóricas de granos (Fig 6).

En Mesoamérica, de acuerdo con el Popol Vuh⁽⁵⁾, el libro maya quiché que cuenta la creación del mundo en un relato pleno de poesía, los dioses crearon a los hombres varias veces hasta llegar a la versión que consideraron más perfecta. Primero crearon aves y venados, en segundo intento hombres de barro, en el tercero hombres de madera pero sin corazón. Fue en el cuarto intento cuando llegan a la creación final, donde la carne de los hombres fue hecha de granos de maíz blanco y granos de maíz amarillo:

... "y moliendo entonces las mazorcas amarillas y las mazorcas blancas, hizo Ixmucané nueve bebidas, y de este alimento provinieron la fuerza y la gordura y con él crearon los músculos y el vigor del hombre. Esto hicieron los Progenitores, Tepeu y Gucumatz, así llamados.

A continuación entraron en pláticas acerca de la creación de nuestra primera madre y padre. De maíz amarillo y de maíz blanco se hizo su carne; de masa de maíz se hicieron los brazos y las piernas del hombre. Únicamente masa de maíz entró en la carne de nuestros padres..."



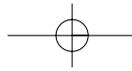


Figura 7

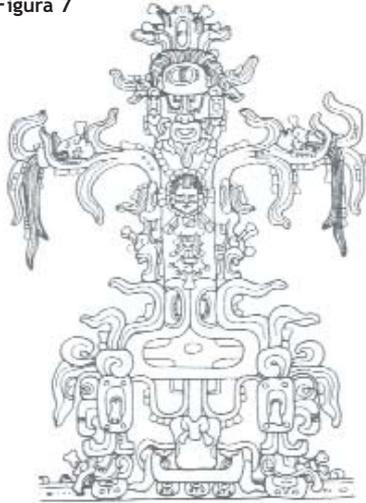
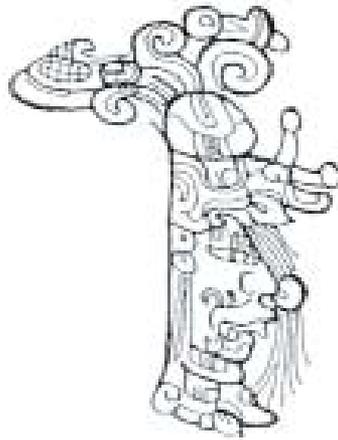


Figura 8



También los aztecas relatan la creación del mundo en su leyenda de los cinco soles, donde hay una evolución de los hombres primitivos que comían bellotas y piñones hasta llegar a los hombres del cuarto sol que comían teocentli, los granos del teosinte. Los hombres del quinto sol, donde aún están, ya evolucionaron y domesticaron el teosinte para convertirlo en maíz. La leyenda y las teorías científicas coinciden en este punto.

Las distintas culturas mesoamericanas plasmaron su culto al maíz con una formidable obra plástica, a través de dibujos, pinturas y esculturas^(3; 4), como ejemplo puede verse en múltiples obras mayas la representación del dios del maíz (Fig 7 y 8). Otra fuente de información son los códices prehispánicos y los posteriores a la conquista donde se encuentran relatos de su vida con el maíz siempre presente.

Fray Bernardino Sahagún fue un monje franciscano que arribó a México en 1529 como evangelizador. Fue un profundo observador y recopilador de la vida y costumbres de los pueblos nahuas y pasó muchos años de su vida recabando informaciones de los nativos que le permitieron escribir la obra "Historia General de las Cosas de Nueva España"⁽⁶⁾. Allí ordenó en capítulos todos los aspectos de la cultura de estos pueblos. En las minuciosas descripciones de

las ceremonias, de los alimentos, de los comerciantes, de las cocineras, de los dioses, describe la presencia del maíz en innumerables aplicaciones. Relata cómo se preparaban y usaban los tamales, cómo antes de colocarlos en el agua caliente los trataban con cuidado y le hablaban para que no le teman a la "cochura" (Fig 9). Siempre muestra el respeto y el afecto hacia los alimentos que manifestaba el habitante de estas tierras americanas, de igual manera que el inspirado por sus dioses. En todas las ceremonias -las hacían por múltiples razones y muy frecuentemente- los tamales eran especiales para cada ocasión. También las bebidas fermentadas que consumían para las distintas ocasiones eran en base a maíz y otros vegetales, como el cacao y el maguey, entre las principales. Y cada una de ellas pre-

parada con muchas recetas e ingredientes para colorear y perfumar. Sí, es una constante en la América prehispánica la preocupación por la presentación de las comidas y el simbolismo que esto llevaba.

Las actuales palomitas de maíz eran ya conocidas en Mesoamérica y Sahagún relatando una ofrenda al dios Opochtli dice: "...sembraban delante de él un maíz tostado llamado Momóchtli que es una manera de maíz que cuando se tuesta revienta y descubre el meollo y se hace como una flor muy blanca, decían que éstos eran granizos, los cuales eran atribuidos al dios del agua."

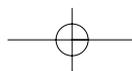
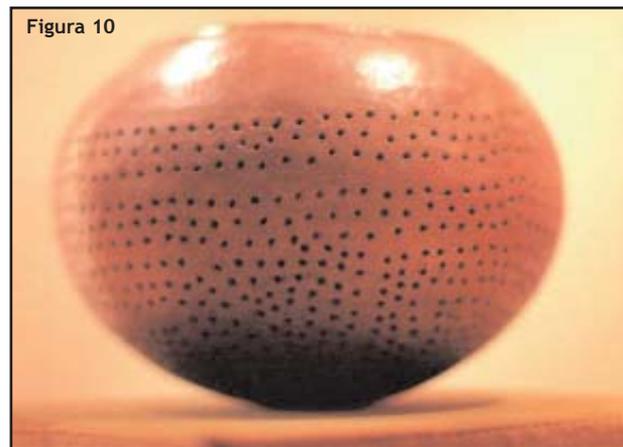
El relato escrito fue acompañado de un libro con dibujos que ilustraron las descripciones constituyendo un documento muy valioso para todos los estudios que se han llevado a cabo a posteriori. Este libro es el Códice Florentino, llamado así porque el original se conserva en una biblioteca de Florencia, Italia.

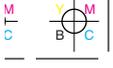
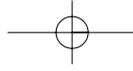
El maíz produjo desde épocas tempranas adelantos tecnológicos interesantes, uno de ellos el proceso denominado nixtamalización que se realiza actualmente para preparar las "tortillas". Este es un tratamiento que se hacía a los granos duros. Para facilitar la molienda se los colocaba en agua caliente que contenía una fuente de alcalinidad, como caparzones de hostiones molidas que ablandaba el pericarpio que se desprendía con facilidad. Luego la parte almidonosa se dejaba reposar y se colaba en un reci-

Figura 9



Figura 10





piente de cerámica llamado "pichancha" (Fig 10). Este proceso mejoraba la calidad de las proteínas al aumentar la lisina disponible. Se modificó favorablemente la dieta en base a maíz de la mayoría de la población de Mesoamérica. La complementación con frijoles y calabaza hizo que los nutrientes se balancearan en calidad de proteínas, minerales y vitaminas. ¿No es maravilloso pensar qué mecanismos internos, no intelectualizados, tiene el hombre para combinar sus comidas y seleccionar lo que necesita?

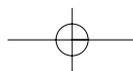
El elemento para triturar el grano no fue un molino sino lo que se llamó *metate*, una superficie plana o ligeramente curva sobre la que se coloca el material a moler y una maza de piedra cilíndrica que lo aplasta al rodar. Hubo desde muy simples hasta piezas muy elaboradas, con tallas en su exterior donde habitualmente había un jaguar, el custodio de la molienda (Fig 11).

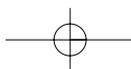
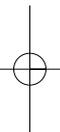
Un aporte interesante al estudio del maíz primigenio lo brinda la lingüística. De allí sabemos que el vocablo maíz deriva de la palabra arawak *marise* que luego derivó a *mahiz* en las Antillas. En la Argentina utilizamos las palabras de origen quechua *chokllu* para designar la mazorca, *challa* para las hojas secas, *huminta* para un pan celebratorio que hoy se transformó en la clásica humita (Fig 12) y *pisankalla* para el maíz reventón.

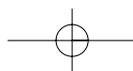
Hoy en América el cultivo del maíz continúa siendo la base de la comida en muchos países y se ha extendido a las mesas de todo el mundo. De su planta se originan múltiples productos, las artesanías de la chala son recursos para muchas comunidades, las tortillas de Mesoamérica se han diseminado por todas las latitudes. Las tradiciones y la religiosidad del hombre prehispánico en relación con su tierra, sus dioses, su maíz, continúan vigentes, aun cuando hayan incorporado otras imágenes del catolicismo. El sincretismo no las ha eliminado, solamente las ha adaptado a las épocas actuales.

Referencias

- 1- R.S. Mac Neish - Environment and subsistence- Vol. 1 The Prehistory of the Tehuacan Valley.
- 2- R.S. Mac Neish - Proyecto Arqueológico Botánico Ayacucho-Huanta 1969 - 1973.
- 3- César Sonderegger - Diseño Precolombino - Corregidor 1999 - Buenos Aires
- 4- César Sonderegger - Arte Cósmico Amerindio - 3.000 Años de Conceptualidad, Diseño y Comunicación - Corregidor 1999 - Buenos Aires
- 5- Popol Vuh - Traducción A. Recinos - Fondo Nacional de Cultura Económica 1984 - México
- 6- "Historia de las cosas de la Nueva España" B.Sahagún - Edit Porrúa- México







El rol del maíz en la alimentación animal

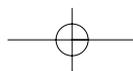
En esta sección se reúnen cuatro trabajos que presentan información sobre las particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de bovinos de carne, cerdos, vacas lecheras y aves, y su impacto en la composición de los productos de consumo humano.

* Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de bovinos de carne.
Gustavo Depetris y Francisco Santini

* Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de vacas lecheras.
Gerardo Gagliostro

* Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de cerdo.
Osvaldo Cortamira

* Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de aves.
Laerte Moraes y Federico Vartorelli





Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de bovinos de carne

Gustavo J. Depetris, Francisco J. Santini



campo) o los sistemas intensivos (feedlot). De la misma manera, aunque en menor proporción, fue el crecimiento del balanceado con destino a animales de tambo, sin embargo en este sector la mayor utilización de maíz fue en la forma de silaje. El engorde a corral fue el segundo factor de incremento de los volúmenes de ensilados de maíz, los cuales pasaron de 375 mil toneladas en el periodo 91/92 a 2 millones de toneladas en el periodo 01/02. Según la Cámara de Engordadores de Hacienda Vacuna las raciones de feedlot utilizan el 14% del maíz de consumo interno, repre-

El maíz es sin duda el grano forrajero por excelencia a nivel mundial. El promedio de la producción mundial de maíz durante el período 1996/97-2000/01 alcanzó valores cercanos a los 600 millones de toneladas anuales, ocupando el 25% de la producción de cereales y oleaginosos (Della Valle y García, 2003), presentando la Argentina para el mismo periodo una producción total promedio aproximada de 15,5 millones de toneladas por año. Sólo el 30% de la producción nacional se destinó al consumo interno durante ese periodo, sin embargo la cadena del maíz se encuentra en proceso de cambio con un intenso incremento del consumo interno (Fraguío y Martínez Quijano, 2005). El maíz con destino a la nutrición animal representó entre el 81,6 y 89,2% durante el periodo 1990/91-1999/00 representado bajo las formas de balanceado, silaje de maíz (planta entera o grano húmedo), harinas, *gluten feed*, *gluten meal* o simplemente como grano entero, partido o molido.

sentando el 80% de la ración. El incremento sostenido durante la última década de la utilización del maíz nos estaría mostrando que transitamos hacia sistemas de mayor intensificación, con mayor nivel de suplementación en los sistemas pastoriles y un incremento de los sistemas de engorde a corral.

Dicha intensificación de los sistemas se produce en un momento en el que existe un creciente interés en la Argentina y en el mundo por definir y caracterizar la carne vacuna lograda bajo diferentes condiciones de producción debido a su impacto sobre la salud humana (Santini, Rearte y Grigera, 2003), como así también, respecto a sus características organolépticas.

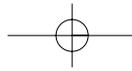
La calidad de la carne esta particularmente definida por su valor nutricional (composición química) y por sus características organolépticas (valor sensorial) tales como la terneza, el color, el sabor y la jugosidad. El sistema de producción, el tipo de animal, el plano nutricional ofrecido y el manejo pre y post faena, pueden modificar considerablemente estas características (Santini *et al*, 2003).



Durante la última década la utilización de maíz en la elaboración de alimento balanceado fue en aumento debido al mayor empleo, principalmente en la alimentación de bovinos de carne, producto del auge de los sistemas de producción semi-intensivos (suplementación a

Efectos del maíz sobre las características organolépticas y composición química de la carne
La utilización de maíz en la alimentación de rumiantes imprimiría ciertas características distintivas a la carne, diferentes a las obtenidas con los sistemas puramente pastoriles. Hay consenso en la literatura





general en atribuir mejores características organolépticas (color, terneza) a las carnes provenientes de animales alimentados con granos. Sin embargo, estas características obedecerían a un efecto indirecto generado por el mayor engrasamiento, mayor crecimiento y la menor edad de los animales a la faena. Si bien también afecta el olor y sabor de la carne, la preferencia se ve influenciada por la experiencia previa y por cuestiones culturales. Por estos motivos las diferencias a veces pueden ser pequeñas o no existir en lo que se refiere a características sensoriales, debido principalmente al nivel de participación del grano en la dieta, como así también al manejo post mortem de la carne. En cambio, sí hay un efecto notorio sobre el perfil de ácidos grasos de la carne, el cual se modifica según el nivel de grano y el tiempo de suministro previo a la faena.

Color: es el atributo sensorial más importante al momento de decidir la compra por parte del consumidor. Dicho atributo depende del contenido y estado de asociación de la mioglobina (principal pigmento de la carne) con el oxígeno. La estructura del músculo también influye sobre el color, ya que permite que absorba o refleje la luz (Geay *et al.*, 2001). El contacto del oxígeno con la mioglobina le otorga a la carne el color rojo brillante, en cambio en ausencia de oxígeno exhibe un color rojo oscuro o púrpura. El almacenamiento prolongado en presencia de aire induce la oxidación de la mioglobina, dando origen a un compuesto (metamioglobina) que le imprime el color marrón a la carne (Geay *et al.*, 2001). El grado de asociación de la mioglobina con el oxígeno está determinado por el pH de la carne, siendo pH bajos los que permiten mayor grado de asociación.

En los sistemas de engorde a corral la proporción de grano de maíz ronda entre el 50% y el 90% de la dieta. Priolo *et al.* (2001) y Realini *et al.*, (2004) plantean que la carne proveniente de estos sistemas presentan un color más brillante que la proveniente de sistemas pastoriles. Esta diferencia se debería a que la utilización de maíz permite incrementar el nivel de glucógeno en los músculos, logrando pH más bajos que los provenientes de sistemas pastoriles (Immonen *et al.*, 2000). Este menor pH está altamente correlacionado con el color, principalmente con la luminosidad (L^* , Klont *et al.*, 2000) generando carnes más brillantes.

Otros de los factores que tendrían influencia serían la edad de los animales y el porcentaje de grasa intramuscular. La utilización de granos incrementa las tasas de crecimiento y engrasamiento, permitiendo faenar animales de menor edad. Los animales más viejos presentan mayor cantidad de mioglobina que los jóvenes, dando un color más oscuro a la carne (Bidner *et al.*, 1986). Con la edad, sobre todo en animales que consumen pasturas, se depositan pigmentos carotenoides en la grasa, y ésta va cambiando del color blanco al amarillo. Estas diferencias se acentúan cuando se analizan animales que consumieron granos (Schaake *et al.*, 1993) ya que estos últimos presentan niveles de carotenos (<5 ppm) muy inferiores a los de las pasturas (>500 ppm), (Realini *et al.*, 2004).



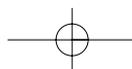
La carne producida a corral presenta un color más brillante.

El contenido de grasa intramuscular también sería responsable, en parte, de las diferencias en la luminosidad de la carne. El incremento en la grasa intramuscular que acontece cuando se suministran granos, asociado al color blanco, le imprimiría cierta claridad a la carne, distinta de la proveniente de sistemas pastoriles (Priolo *et al.*, 2001)

Terneza: es la característica que determina la aceptación del producto por el consumidor. Esta se refiere a la facilidad en la masticación durante el consumo. Es un atributo muy complejo en el cual participan factores inherentes al animal y al manejo pre y post faena, como así también la forma de preparación del producto.

Entre los factores inherentes al animal, se encuentran el estado de las miofibrillas musculares, la cantidad y el tipo de tejido conectivo y la cantidad de grasa intramuscular o marmoreado. Estos últimos factores podrían ser influenciados por el tipo de alimentación otorgada.

La terneza se relaciona con el pH en forma cuadrática, siendo mayor cuando el pH de la carne es menor a 5,8, disminuyendo en el rango entre 5,8 y 6,3, y volviendo a aumentar a pH superiores a este último valor. De la misma forma que para el color, el incremento en los niveles de glucógeno previo a la faena permite descender el pH a valores inferiores a 5,8, haciendo más tierna la carne.





Un aumento en la cantidad y una disminución en la solubilidad del colágeno se relacionan con la maduración de los animales, incrementando la dureza de la carne. (Geay *et al.*, 2001). Altas ganancias de peso previo a la faena mejorarían la terneza, por un aumento en la proporción de colágeno soluble y por el incremento de la actividad proteolítica y la potencial actividad glucolítica (Thompson, 2002).

Aunque el grado de engrasamiento intramuscular o marmoreado explica sólo el 10 al 15% de la variabilidad en la terneza, estudios recientes indican que el esfuerzo de corte disminuye a medida que la infiltración de grasa intramuscular aumentaba de "trazas" a "pequeñas cantidades" (Huerta Leidenz, 2002). Geay *et al.* (2001), afirman que la grasa intramuscular juega un rol favorable en la terneza cuando supera el 6%. Warriss (2000) y Nuernberg *et al.* (2004) le atribuyen mayor terneza a la carne con mayor contenido de grasa intramuscular debido a que la grasa es más blanda que el músculo.

Jugosidad: está relacionada con la mayor o menor sequedad de la carne durante la masticación (Geay *et al.*, 2001). Los jugos de la carne juegan un rol importante en la impresión general de la palatabilidad ya que contienen muchos de los componentes del sabor y ayudan al ablandamiento y a la fragmentación de la carne durante la masticación (Huerta Leidenz, 2002). La falta de jugosidad limita la aceptabilidad de la carne y destruye sus virtudes sensoriales. La jugosidad presenta dos componentes, el primero corresponde a la sensación de liberación del agua durante los primeros bocados y el segundo, más sostenido, es influenciado por la acción de los lípidos sobre la liberación de la saliva.

Aroma y sabor: el sabor involucra la percepción de cuatro sensaciones básicas (salado, dulce, ácido y amargo) por las papilas gustativas de la lengua. El aroma se detecta por los numerosos componentes volátiles liberados por la carne que estimula los receptores de la nariz. La carne cruda presenta poco aroma y sabor, y ambos atributos sólo se desarrollan cuando es cocida o calentada. Existen componentes no específicos comunes a todas las carnes y componentes específicos de especie que determinan las diferencias entre bovino, ovino, cerdo y pollo. Los primeros derivan del calentamiento de los componentes hidrosolubles de bajo peso molecular, tales como los azúcares, aminoácidos, péptidos, nucleótidos y compuestos nitrogenados (Warriss, 2000). Los segundos, son atribuidos a la cocción de los lípidos, principalmente los fosfolípidos y en menor medida los triacilglicérols (Warriss, 2000). Los lípidos experimentan una degradación oxidativa liberando varios compuestos volátiles tales como los aldehídos alifáticos y aldehídos insaturados y otros compuestos heterocíclicos determinados por el perfil de ácidos grasos de la carne.

Los consumidores generalmente encuentran diferencias en el olor y sabor de la carne de animales provenientes de sistemas pastoriles con respecto a los animales que en su dieta recibieron altos niveles de

grano. Más de 1000 componentes han sido identificados como responsables del sabor y olor de la carne y algunos de ellos pueden ser influenciados por la dieta. La aparición de estos componentes también dependen del pH de la carne. De hecho, un pH alto induce una alta proporción de componentes producto de la oxidación de los ácidos grasos, induciendo olores y sabores poco placenteros durante la cocción. Los ácidos grasos depositados en la carne contribuyen con el sabor, por solubilizarse con componentes tales como el escatol y los terpenoides presentes durante la digestión ruminal de la clorofila. Los aldehídos y las cetonas están en mayor proporción en la carne proveniente de animales que consumieron granos. Estos productos derivarían de la oxidación de los ácidos linoleico y oleico presentes en mayor porcentaje en animales que consumieron granos. En cambio, una mayor proporción de aldehídos insaturados, ácidos grasos volátiles y metil-cetonas derivan de la oxidación del ácido linolénico presente en altas cantidades en la carne provenientes de animales en pastoreo (Marmer, Maxwell y Williams, 1984). La concentración de antioxidantes en la carne (alfa-tocoferol, beta-carotenos) también tiene influencia sobre el olor y sabor de la carne ya que protege las membranas de las fibras musculares, impidiendo la oxidación de los lípidos durante el almacenamiento. Estos antioxidantes disminuyen con la utilización de granos, produciendo una mayor rancidez de la carne y acortando la vida en la estantería (Realini *et al.*, 2004, Descalzo *et al.*, 2000)

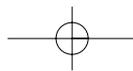
Perfil de ácidos grasos y su rol sobre la calidad de carne

La grasa de los productos bovinos (carne y leche) en muchos casos es considerada perjudicial para la salud por su alto contenido de grasas saturadas y por tener una relación ácidos grasos poli-insaturados (AGPI)/ácidos grasos saturados (AGS), de 0,11-0,15.

Como es conocido, el consumo de elevadas cantidades de AGS incrementa los niveles de colesterol sanguíneo y las lipoproteínas de baja densidad unidas al colesterol (LDL-C), aumentando el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Nicolosi *et al.*, 2001). El consumo de AGPI disminuye las concentraciones séricas de colesterol y la presión sanguínea (Frenoux *et al.*, 2001), de la misma forma que los ácidos grasos mono-insaturados (AGMI), aunque en menor medida (Kris-Etherton *et al.*, 1999). Por este motivo, la Asociación Americana del Corazón recomienda no consumir más de un 30% de energía proveniente de las grasas, limitando hasta menos del 10% las calorías provenientes de los AGS y el resto procedente de los ácidos grasos insaturados (AGI), (Nicolosi *et al.*, 2001; Kris-Etherton, 1999; Wood *et al.*, 2004). Además está indicado que la relación AGPI:AGS sea superior a 0,4 (Wood *et al.*, 2004) y que la relación omega-6/omega-3 sea alrededor de 2 (Geay *et al.*, 2001).

Sin embargo, en los últimos años se ha encontrado que un componente de la grasa bovina podría tener efectos benéficos para la salud humana





(McGuire y McGuire, 2000). Estos compuestos conocidos como CLA (ácido graso linoleico conjugado) son generados a partir de productos derivados de la biohidrogenación incompleta en el rumen. Si bien los CLA pueden provenir de distintas fuentes naturales o sintéticas, el único isómero que ha sido comprobado que realmente tiene efectos anticancerígenos, aun en concentraciones muy bajas, es el isómero *cis*-9, *trans*-11 que se encuentra en los productos de rumiantes (McGuire y McGuire, 2000). Otro efecto de los CLA, específicamente del isómero *trans*-10, *cis*-12 C18-2, es el de modificar la partición de la energía, reduciendo la deposición de grasas (MacDonald, 2000), adjudicándole efectos contra la obesidad. A su vez, aunque no se sabe aún con exactitud cuál de todos los isómeros es el responsable, los CLA tendrían efectos positivos sobre el sistema inmune, la arteriosclerosis, sobre los procesos de osificación y sobre la diabetes (Bauman *et al.*, 2001).

La alimentación con maíz afectaría el perfil de ácidos grasos de la carne, ya que presenta con respecto a las pasturas mayor contenido de ácido linoleico (omega-6) y oleico y menor concentración de linoléico (omega-3). Las diferencias que se observan obedecerían al nivel de inclusión en la dieta, como así también al tiempo de suministro previo a la faena.

Cuando la utilización de maíz es aproximadamente el 80% de la dieta, la relación omega-6/omega-3 (n-6/n-3) alcanza valores de 8; 11,9 y 21,6 (Martinez Ferrer *et al.*, 2004); Depetris *et al.*, 2003; Latimori *et al.*, 2003), encontrándose la relación

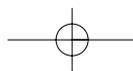
AGPI/AGS en el rango de 0,25-0,22 (Depetris *et al.*, 2003; Martinez Ferrer *et al.*, 2004).

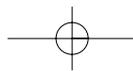
En este tipo de dietas, el ambiente ruminal no favorece la formación de CLA debido a la disminución de los procesos de biohidrogenación, encontrándose niveles de 0,28 a 0,30 g/100g de ácidos grasos (Depetris *et al.*, 2003; Latimori *et al.*, 2003; Martinez Ferrer *et al.*, 2004). Cuando se utilizó maíz con alto contenido de aceite, se observó un incremento en la concentración de CLA hasta un valor de 0,36 g/100g de ácidos grasos (Depetris *et al.*, 2003). En cambio, en los sistemas pastoriles puros la relación n-6/n-3 se aproxima a 1 (Martinez Ferrer *et al.*, 2004, Depetris *et al.*, no publicados, Realini *et al.*, 2004) debido a la alta incorporación de ácido linoléico, y los niveles de CLA aumentan hasta valores de 0,53-0,78 g/100g (Realini *et al.*, 2004 y Latimori *et al.*, 2003).

En los sistemas pastoriles que reciben suplementación con grano de maíz, la relación n-6/n-3 está en el rango de 1,9-2,5 (Martinez Ferrer *et al.*, 2004) y 3,9-4,9 (Latimori *et al.*, 2003) con niveles de suplementación de 0,7 a 1,5 % del peso vivo. En suplementaciones al 1,5 % del peso vivo hasta 42 días previo a la faena, la relación n-6/n-3 estuvo entre 1,6-1,85 (Depetris *et al.*, no publicados). La concentración de CLA en los sistemas con suplementación no diferiría de los sistemas pastoriles, que presentan valores entre 0,50-0,85 g/100g de ácidos grasos. Esto concuerda con French, *et al.*, 2003) quien concluye que si la asignación forrajera es elevada, no habría cambios en el perfil de ácidos grasos con altos niveles de suplementación.

Conclusión

La intensificación de los sistemas para producción de más carne nos lleva a utilizar más granos en la dieta. Aunque se pueden observar diferencias en las características organolépticas de la carne, éstas estarían asociadas a un efecto indirecto del maíz (mayor engrasamiento, mayor velocidad de crecimiento y menor edad de faena del animal). Sí en cambio, el maíz tiene un efecto directo sobre la composición lipídica de la carne debido al diferente perfil de ácidos grasos aportado. Si bien la inclusión de altas proporciones de maíz en la dieta produce carne con un perfil menos deseable de ácidos grasos, la inclusión de éste en sistemas pastoriles, no tendría efectos tan marcados, generando carnes aceptables desde el punto de vista de la calidad nutricional y sensorial.





Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de vacas lecheras

Gerardo A. Gagliostro



La característica sobresaliente de los rumiantes es su capacidad de utilizar alimentos que poseen un alto contenido de fibra. Pero una vez que los requerimientos energéticos y nitrogenados a nivel de rumen han sido satisfechos, la suplementación con grano de maíz cuyo almidón posee una fracción no degradable o "bypass", podría implicar ventajas adicionales para la vaca lechera.

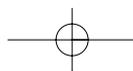
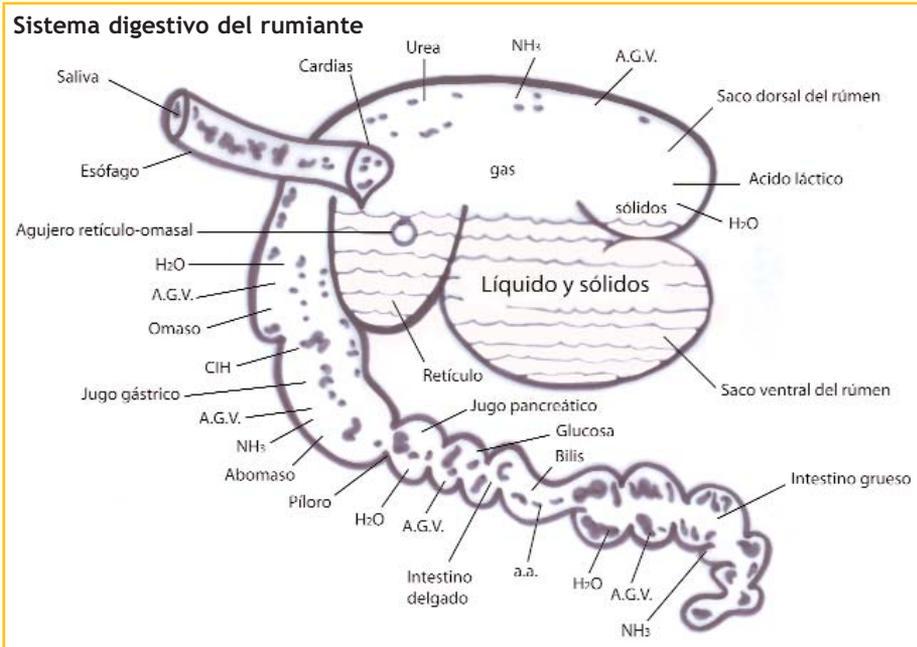
La glucosa es necesaria a nivel mamario para la biosíntesis *de novo* de ácidos grasos (aporte de NADPH, de glicerol-3-P [esterificación de los ácidos grasos]) y para la síntesis de lactosa (glucosa y UDP-galactosa) principal osmo-regulador que determina el volumen de leche producida. La glucosa se origina a partir de la absorción del almidón a nivel intestinal (vía directa) o a partir del proceso de gluconeogénesis hepática, reconociendo como principal precursor al ácido propiónico producido en rumen (vía indirecta). La eficiencia bioquímica de síntesis de lactosa es mayor, cuando la glucosa (precursor) es absorbida directamente en intestino delgado (almidón bypass), respecto a una situación donde la glucosa es primero degradada en rumen (almidón de alta degradabilidad ruminal como el de cebada y trigo) y el ácido propiónico

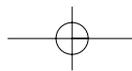
resultante es transformado luego en glucosa a nivel hepático, para la posterior biosíntesis de lactosa a nivel mamario.

Los trabajos de investigación realizados en el área de nutrición de rumiantes han demostrado que el almidón contenido en diferentes materias primas se degrada a nivel ruminal con distinta intensidad y velocidad (ver Gagliostro, 2001). Teniendo en cuenta que tanto el nitrógeno como la energía presentes a nivel de rumen pueden estar limitando el crecimiento microbiano, y que dicho crecimiento resulta de fundamental importancia para una correcta nutrición del rumiante, resulta interesante analizar si la variabilidad de degradación de los almidones puede ser ventajosamente utilizada a los fines

de aumentar la cantidad y la calidad de la leche producida.

En nutrición de rumiantes, resulta muy común clasificar a los hidratos de carbono en estructurales (celulosa, hemicelulosa) y no estructurales (almidón y carbohidratos solubles) (Van Soest, 1982). Al hablar de hidratos de carbono bypass nos referiremos al almidón contenido en los granos de cereales que escapa a los procesos digestivos a nivel de rumen pero que es capaz de aportar glucosa a nivel intestinal. La entrada de glucosa en la glándula mama-





ria es el principal determinante de la cantidad de leche producida y es altamente dependiente de la disponibilidad de glucosa a nivel mamario. Se han observado correlaciones positivas entre la concentración plasmática del metabolito y la producción de leche. Estos argumentos destacan la importancia de incrementar la disponibilidad de glucosa como estrategia predisponente a un aumento en la producción de leche. En el rumiante, existen dos vías para lograr tal incremento: aportar carbohidratos fermentecibles a nivel de rumen para la producción de sustratos gluconeogénicos, como el ácido propiónico (vía indirecta) o aportar fuentes de almidón bypass (grano seco de maíz) para una absorción directa de la glucosa a nivel intestinal.

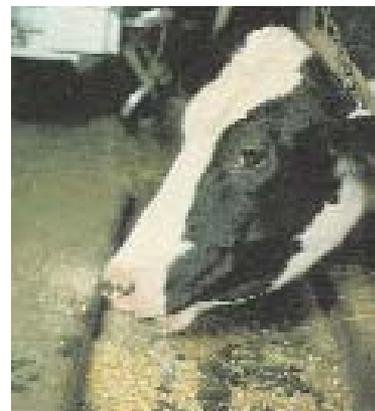
Los granos de cereales forrajeros están sujetos a una exhaustiva fermentación a nivel ruminal con la formación de ácidos grasos volátiles (AGV) y células microbianas. La cantidad de almidón que es digerida en el rumen suele variar entre un 50 y un 94% dependiendo del tipo de grano de cereal utilizado y de su procesamiento.

En el Cuadro 1 se presenta una estimación del contenido de almidón y de almidón bypass en algunas materias primas. Puede observarse que sólo cuatro alimentos (el maíz, el sorgo, el arroz y la papa) poseen una cierta capacidad bypass en sus almidones, que en promedio no supera los 200 g de almidón no degradable en rumen por kg de materia seca.

El conocimiento del perfil de nutrientes generado a través de una decisión de suplementación (lípidos, glucosa, aminoácidos) tiene una profunda influencia sobre la calidad de la leche, ya que la composición de la misma es función del flujo de tales nutrientes hacia la glándula mamaria.

La industria valoriza la recepción de una leche más rica en caseínas a fin de aumentar la eficiencia de transformación de la materia prima en quesos. Uno de los métodos más eficaces de incrementar el tenor proteico de la leche es la suplementación con

cereales como el maíz (con almidón bypass). Este incremento se debería a una mayor disponibilidad de energía a nivel mamario, puesto que la biosíntesis proteica resulta una de las más exigentes en ATP. En experimentos donde el forraje utilizado



fue el silaje de maíz (aporte de glucosa bypass), el suministro de glucosa a nivel duodenal (por infusión vía cánula de duodeno) no tuvo ningún impacto sobre el tenor proteico de la leche. Cuando la ración de base estuvo constituida por forrajes que no aportan glucosa a nivel duodenal (silaje de pasturas, forrajes frescos), la infusión isoenergética de 0,5 a 1,5 kg de glucosa/día en el duodeno de las vacas lecheras permitió aumentar la producción de leche (+1,4-2,8 kg/día) y la producción de proteínas (+100 gramos/día). Este resultado sugiere la existencia de un requerimiento mínimo de glucosa para maximizar la eficiencia de utilización de la energía para producción de leche, que puede ser aportada por el grano seco de maíz. El requerimiento específico de glucosa parece situarse en alrededor de 1 kg de equivalente glucosa intestinal (ver Gagliostro, 2001).

Los almidones de alta degradación ruminal (avena, trigo, cebada, maíz húmedo) tienden a aumentar la proporción molar de ácido propiónico, lo que aumenta la probabilidad de afectar negativamente el tenor graso de la leche (De Visser, 1993). Sobre un importante número de experiencias (Sauvant y otros, 1994) se ha podido poner en evidencia un efecto negativo de los almidones de rápida y alta digestión ruminal sobre el tenor graso de la leche, cuando la densidad energética de la dieta es alta (altos niveles de suplementación) y genera bajos porcentajes de grasa butirosa.

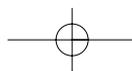
Si la participación de concentrado en la ración es alto, el riesgo de reducir el tenor graso de la leche aumenta peligrosamente con los almidones de baja capacidad bypass.

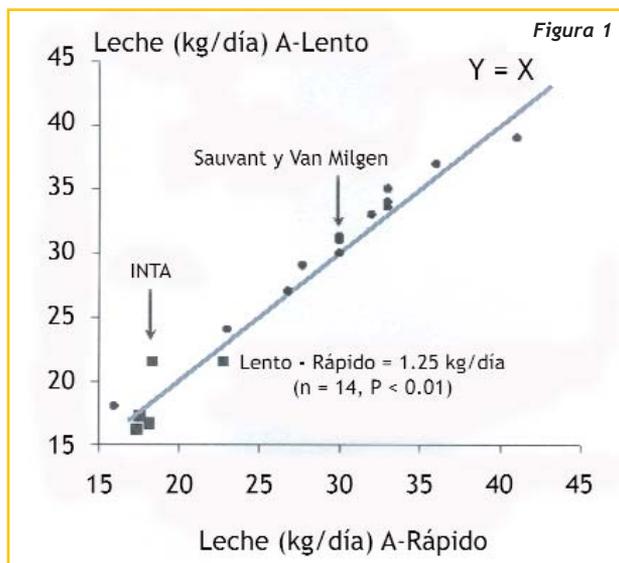
En Francia se ha trabajado en metodologías de protección del almidón contenido en el grano de maíz para incrementar su capacidad bypass, bajo el hallazgo experimental de un aparente requeri-

Cuadro 1 - Almidón total (A-Total), almidón soluble (A-Sol), almidón digestible en el rumen (ADR) y almidón bypass (A-bypass) en diferentes alimentos.

	A-Total (g/kg MS)	A-Sol (g/kg MS)	ADR (g/kg MS)	A-bypass (g/kg MS)
Afrechillo fino de trigo	240	203	221	19
Afrechillo grueso de trigo	150	123	138	12
Afrechillo de arroz	310	73	252	57
Arveja	520	215	449	71
Avena	400	383	373	27
Cebada	595	353	541	54
Gluten feed maíz	225	131	195	30
Gluten meal maíz	190	44	166	24
Harina de trigo	730	628	674	56
Maíz	740	173	545	195
Papa	740	192	549	190
Sorgo	740	132	525	215
Trigo	690	489	625	65

Fuente : Sauvant y otros (1994).





miento en glucosa absorbible por parte de la vaca lechera en dietas a base de forraje (1 kg de equivalente glucosa intestinal) (Dr. H. Rulquin, comunicación personal).

El efecto de la intensidad de digestión ruminal de los almidones en un rango extendido de potencial genético de producción (16-40 kg de leche/vaca/día, Fig. 1) fue estudiado por Sauvart y Van Milgen (1995).

La ubicación sistemática de los puntos por encima de la bisectriz ($Y=X$) indica que el reemplazo de una fuente de almidón de alta y rápida degradación ruminal por otra de mayor capacidad by-pass y menor velocidad de degradación en rumen (grano de maíz seco) mejora significativamente la producción de leche. La magnitud promedio del efecto fue de 1,25 kg/día (n=14, P<0,01) (Sauvart y Van Milgen, 1995). Parecería ser que los animales suplementados con fuentes de almidón de rápida y alta degradabilidad ruminal consumen una menor cantidad de materia seca y que dicho efecto es observado tanto en vacas como en novillos en engorde (ver Gagliostro, 2001).

Los efectos son más importantes en situaciones de alto nivel de suplementación y altas cantidades de almidón degradable en rumen. La utilización de altas cantidades de almidón degradable en rumen puede reducir la digestión ruminal de la fibra (FDN) del forraje y afectar negativamente el consumo. En esas condiciones, el efecto puede corregirse utilizando cantidades crecientes de almidón no degradable en rumen, como el contenido en el maíz seco, o atenuarse mediante la mezcla de forraje y concentrado en dietas completas en mezcla (mixers).

Parece existir una importante capacidad de absorción intestinal del almidón pero la secreción amilásica intestinal sería insuficiente para hidrolizar un alto flujo de almidón bypass. Este hecho podría explicar la disminución de eficiencia de absorción ante importantes llegadas de almidón bypass al intestino delgado.

Conclusiones

De todo lo expuesto surge que los almidones son compuestos de gran importancia en la nutrición de la vaca lechera, variando en cuanto a sus propiedades digestivas a nivel de rumen, lo que les otorga distinta capacidad bypass y distinta probabilidad de alterar las fermentaciones ruminales y con ello el tipo de nutrientes disponibles a nivel mamario.

La respuesta productiva es el indicador de mayor interés a la hora de decidir sobre la conveniencia o no de formular concentrados conteniendo carbohidratos con diferente capacidad bypass a fin de lograr que el nitrógeno y la energía se encuentren armónicamente combinados a nivel ruminal. Los resultados experimentales sugieren que la utilización de almidones con menor capacidad bypass y mayor aporte de energía a nivel ruminal no conduce a aumentos significativos en la producción de leche o cambios económicamente deseables en el tenor graso y/o proteico de la misma, aun en situaciones de exceso de amoníaco a nivel de rumen (ver Gagliostro, 1991).

Si los requerimientos de carbohidratos no estructurales a nivel de rumen están cubiertos, existen evidencias metabólicas y bioquímicas para sugerir una mayor eficiencia de utilización de la glucosa para producción de leche cuando la misma es aportada bajo la forma de almidón bypass, como el maíz seco.

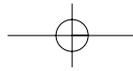
Las ventajas a favor de los almidones bypass en términos de eficiencia metabólico-bioquímica se manifestarían en altas producciones de leche. La suplementación energética con almidones de mayor degradabilidad ruminal constituye una herramienta nutricional para modular la relación Proteína/Grasa butirosa que se pretende actualmente maximizar. Aun en ausencia de un efecto positivo neto sobre el tenor proteico de la leche, el efecto negativo sobre el tenor graso mejoraría la citada relación.

Los almidones de menor degradabilidad ruminal otorgan una mayor seguridad contra fenómenos de acidosis subclínica en dietas diseñadas para entregar alta densidad energética por kg de materia seca.

La absorción intestinal del almidón parecería ser alta, pero la eficiencia con la cual dicho almidón es digerido parecería disminuir en la medida que aumenta la cantidad de almidón bypass que llega a intestino delgado. Este hecho implica una disminución en el tenor energético de los granos (maíz, sorgo) en altos niveles de suplementación. La capacidad de absorción intestinal podría mejorarse incrementando la llegada de proteína verdadera al duodeno (microbiana o bypass).

Debido a la alta demanda de glucosa como fuente de energía a nivel de tejido visceral (intestinos), parecería no haber en el rumiante una absorción positiva neta de glucosa (Nocek y Tamminga, 1991). Esto podría también explicar, en parte, la ausencia de efectos positivos netos de los almidones con mayor capacidad bypass en vacas lecheras. Finalmente cabe comentar que la glucosa exógena (almidón bypass) implicaría un ahorro de glucosa endógena (gluconeogénesis) en el metabolismo oxidativo de las vísceras, permitiendo un mayor flujo de glucosa hacia la glándula mamaria (Nocek y Tamminga, 1991).





Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de cerdos

Oswaldo Cortamira

En la Argentina el área geográfica de producción de cerdos coincide con el área maicera. Antes existía la creencia de que la producción porcina se desarrollaba como una explotación ganadera complementaria a la producción de maíz, ya que se consideraba que el cerdo era un medio efectivo para recoger las pérdidas de cosecha "pastoreando los rastrojos".

En realidad, la industria de cerdos se desarrolla en el área maicera porque el maíz es el insumo más importante y sus costos limitan la sustentabilidad de la explotación porcina. Los costos de alimentación representan el 50 al 80 por ciento de los costos productivos, siendo el maíz el ingrediente de mayor incidencia en la formulación de las dietas (Noblet, 1996).

Los requerimientos nutritivos de los cerdos dependen del potencial genético y de las condiciones ambientales de la producción. Según Noblet *et al* (1994) si el aporte de los nutrientes en el trigo tiene un índice = 100, el índice del maíz es superior, 102 a 108 (dependiendo del contenido de aceite), para la cebada es de 95, mientras que en una harina de soja 44 es de 66.

En los últimos 30 años el consumo de carne de cerdos ha evolucionado en proporción con el crecimiento de la población mundial. Se estima que la cantidad de cerdos en el mundo es alrededor de 931 millones de cabezas (FAO, 2002). Para las próximas décadas se prevé un aumento de la población mundial en más del 30%, lo que provocará una mayor demanda de carne porcina. Las restricciones para el crecimiento de la producción de cerdos pasan por la preservación del medioambiente en los países del hemisferio norte, que provocarán una reubicación mundial de la producción porcina hacia países con mayores posibilidades de reciclar los residuos orgánicos y con óptimas condiciones para la producción de cereales (EE.UU., Latinoamérica).

En los países desarrollados, el 27% de las calorías y el 56% de las proteínas consumidas por el hombre son de origen animal; en los países en desarrollo esos porcentajes descienden al 11% y al 26%, respectivamente (Alentar Naas, 2002). Existen numerosas causas que justifican que la carne de cerdo sea un alimento esencial en la dieta humana. Es la carne que más se consume en el mundo (FAO, 2003). La gran mayoría de las personas la eligen porque les gusta su olor, su sabor, su ternura y su jugosidad, que representan los atributos más deseables de calidad en la carne de cerdo (Pettigrew & Esnaola, 2000). Su bajo costo de producción contribuye a que sea la fuente de



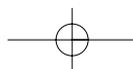
proteínas de origen animal de mayor demanda internacional.

Las características nutritivas de la carne porcina le confieren una gran plasticidad en la combinación con otros alimentos. Es un producto que provee una proteína de alta calidad con un excelente balance de aminoácidos, siendo una importante fuente de minerales (zinc, hierro, etc.) y de vitaminas (tiamina, niacina, B₁₂ etc.). Se complementa muy bien con una fuente de nutrientes de origen vegetal para conformar una dieta balanceada. Para ciertas poblaciones es una fuente de energía muy importante por el alto contenido de grasa, representando en otros lugares un obstáculo que limita su consumo. Sin embargo, en la mayoría de los cortes comerciales la grasa subcutánea puede ser removida, quedando un remanente de grasa intramuscular que puede representar hasta un 10% en peso. Además de ser un excelente alimento para consumo fresco, por su composición tanto en fibras musculares como en su tejido adiposo, es un insumo que resiste la manipulación y se adapta fácilmente para la fabricación de fiambres cocidos o curados (salazón y fermentación).

El objetivo de este trabajo es recopilar y analizar las características nutritivas del maíz argentino (tradicional o especial) que cubran los requerimientos de la producción moderna de carne de cerdos.

Características de la cría de cerdos

La producción de cerdos en América Latina presenta ciertos indicadores competitivos que favorecerían su desarrollo en forma exponencial: una baja densidad de cerdos por km², un excelente status sanitario, una alta producción de maíz y soja, escasa incidencia de los costos de mano de obra y de energía.





A pesar de estas ventajas, la producción porcina en la Argentina ha tenido un desarrollo aleatorio, con un ritmo de crecimiento muy inelástico dependiente del mercado interno. La inestabilidad económica, la falta de crédito, los altos impuestos, los problemas sanitarios que dificultan la exportación y la falta de credibilidad del propio productor contribuyen al escaso crecimiento del sector. La intención actual de las autoridades competentes es promover su desarrollo a través de la recuperación del poder adquisitivo, promover una mentalidad empresaria a nivel productor, estabilizar los precios, favorecer la demanda con certificación de origen y producir avances tecnológicos con el fin de mejorar la calidad para estimular un aumento del consumo de carne fresca.

Es importante destacar que no existen limitaciones tecnológicas para la cría del cerdo en la Argentina (Cortamira, 2003). Está bien demostrado que los sistemas agrícola-porcino superan, en diferentes condiciones económicas, la rentabilidad de los sistemas de producción agrícola a pesar de la variabilidad de los precios de los granos (Peretti y Urquiza, 2003). El productor debe creer que es posible obtener un valor agregado de su producción agrícola transformando el grano en carne. Esto permitiría incrementar la producción local para satisfacer el mercado interno (sustituir la actual importación de carne porcina) y cubrir las demandas de un potencial mercado internacional que surgirá como consecuencia de la erradicación de ciertas enfermedades como la peste porcina clásica y la aftosa.

Características del grano de maíz

El maíz en la Argentina representa la principal fuente de energía para la alimentación de cerdos (Cortamira, 2004). Es considerado un complemento ideal cuando se lo combina con el grano de soja y sus derivados industriales para formar un alimento completamente balanceado para cualquier etapa de la cría de cerdos. Las demandas nutricionales de los animales modernos se han incrementado (Seve, 1994). Esto ha generado el uso de aminoácidos sintéticos y de grasas que fisiológicamente pueden ser nutrientes muy eficaces, pero económicamente pueden presentar ciertas limitaciones. El valor nutritivo de los ingredientes naturales ha tomado un aspecto crítico en la formulación de las dietas para cerdos. Las compañías que venden semillas de maíz han demostrado este interés y han impulsado el desarrollo de programas genéticos o de manipulación biogenética con el objetivo de mejorar el valor nutritivo del grano. Se han generado nuevos híbridos de maíz denominados especiales o "de alto valor" o mejorados nutricionalmente, para la alimentación de aves y cerdos (House, 1997).

El maíz es considerado una fuente importante de energía debido a su alto contenido de almidón. Las proteínas del grano de maíz pueden constituir entre el 20 al 50% del consumo proteico en las diferentes etapas de producción de cerdos, con lo cual su calidad nutritiva representa un gran objetivo para los fitomejoradores y los especialistas en producción porcina.

Clasificadas por el grado de solubilidad, las proteínas de maíz se distinguen en albúminas, globulinas, prolaminas y gluteninas. Las dos primeras contienen la mayor parte de la lisina (aminoácido esencial y primer factor limitante en las dietas para cerdos) contenida en el grano. La prolaminas también llamadas zeínas, representan el 52% del contenido de nitrógeno y están formadas principalmente por los aminoácidos glutamina, prolina, leucina y alanina, con baja concentración de lisina y triptofano.

La fracción proteica del endosperma está constituida por un 25% de gluteninas y un 60% de zeínas de pobre calidad. El germen contiene albúminas, globulinas y gluteninas, con muy poca cantidad de zeínas. El contenido de zeínas en el grano de maíz se incrementa linealmente con el contenido de proteína.

El germen constituye el sitio donde se almacena la mayor cantidad de lípidos (83%). El aceite de maíz contiene una alta proporción de ácidos grasos insaturados, con un 50% de linoleico, 40% de oleico y 12% de palmítico (Boyer y Hannah, 1994). Según Wright (1987) el aceite de maíz contribuye con el 12% del total de los requerimientos de energía digestible para cerdos. Cuantitativamente el grado de insaturación aumenta la digestibilidad y mejora la absorción de grasas, pero cualitativamente puede afectar la conservación de la carne, ya que aumenta el potencial de oxidación de la grasa corporal.

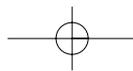
El 70% de los carbohidratos contenidos en el grano es almidón, el endosperma contiene el 90% de almidón y es la fracción con mayor energía digestible del grano de maíz. El almidón está constituido básicamente por dos polímeros de glucosa: la amilosa, que forma una cadena lineal, y la amilopectina que es una cadena ramificada. Los híbridos dentados normales contienen alrededor del 25% de amilosa y el 75% de amilopectina; existen híbridos denominados "waxy" que contienen el 100% de amilopectina. La fracción de amilosa se encuentra en forma helicoidal y en el curso de un proceso hidrotérmico puede insertarse un elemento graso (ácido graso, monoglicérido) que disminuirá su solubilidad y su digestibilidad (Adrian *et al*, 1995).

Nuevas variedades o híbridos de maíz especiales de alto valor nutritivo

Los avances genéticos para el mejoramiento del maíz destinado a la alimentación de cerdos y aves han permitido obtener líneas genéticas con alta concentración de ciertos nutrientes. Estas líneas especiales, de alto valor nutritivo, son producidas por manipulación genética o por programas genéticos tradicionales de cría de líneas con diferente composición del germen y del endosperma. Las variedades de maíz para la alimentación de cerdos que, hasta el presente, han tenido mayor demanda son las de "Alta Lisina", de "Alto Aceite" y de "Almidón waxy".

Los maíces de Alta Lisina se originaron en los años sesenta con la aparición de líneas mutantes "Opaco-2" (Mertz *et al*, 1964) y "Floury-2" (Nelson *et al*, 1965) en la Universidad de Purdue, EE.UU. Estas líneas fueron introducidas en variedades convencio-





nales para producir híbridos con alto contenido de lisina y triptofano. Esta mejora genética elevó la calidad de la proteína del grano de maíz reduciendo el contenido de zeínas e incrementando las proporciones relativas de albúminas, globulinas y gluteninas.

Al comparar los maíces de alta lisina con los dentados normales en dietas con niveles subóptimos de proteína para cerdos en crecimiento, se observó un valor nutricional más alto en los maíces mejorados (Burgoon *et al*, 1992). Estas variedades presentan un valor biológico de las proteínas del grano cercano al 80%, mientras que los maíces normales alcanzan un 60% (Eggum *et al*, 1983) lo que permite incrementar la inclusión de maíz en las dietas de terminación sustituyendo en parte la principal fuente de proteínas.

En la Universidad de Illinois, por más de 80 generaciones, se han seleccionado variedades de maíz "Alto Aceite", en base a un mejoramiento genético tradicional (ver "Mejoramiento genético de maíz y su trayectoria en la Argentina") para máximo contenido de aceite (Weber, 1978). A partir de esta selección de líneas se logró incrementar hasta un 20% el contenido de aceite del grano de maíz, pero con graves problemas en los rendimientos. A pesar de ello, nuevos procedimientos en el manejo de los cruzamientos de las líneas de Alto Aceite con líneas maternas comerciales han permitido obtener híbridos de maíz con 6 a 10% de aceite y con rendimientos medios. La utilización de estos híbridos de maíz como método alternativo para incrementar la densidad energética en las dietas para cerdos ha permitido mejorar la eficiencia de utilización de los nutrientes (Adams y Jensen, 1984, Han *et al*, 1987). El maíz Alto Aceite, también llamado "Maíz de Alto Valor" (Renessen LLC, 2001) se distingue por un aumento significativo del tamaño del germen que provoca un aumento considerable del contenido de lípidos y de proteínas, lo que a su vez provoca un aumento de la energía y de la lisina del grano (ver sección sobre aves). Estas ventajas nutricionales se traducen en un aumento de la eficiencia alimentaria en las dietas para cerdos del orden de 8 a 10% (Adeola y Bajjalieh, 1997).

Estudios más recientes han comprobado que este maíz presenta un mayor aporte de energía y proteína por unidad de peso seco que el maíz común comercializado en la Argentina para la alimentación animal (Azcona *et al*, 2001). Fundamentalmente, presenta un mayor coeficiente de digestibilidad aparente de la lisina y un mayor contenido de energía neta. Cuando ambos maíces fueron comparados con dietas isonutritivas para cerdos de 125 Kg. de peso vivo final, no se observaron diferencias en los resultados zootécnicos, pero se registraron mejoras en la calidad de res, aumento del porcentaje de cortes primarios comerciales (jamón, lomo y paleta) y una disminución en el porcentaje de grasa en los animales alimentados con estos híbridos (Cortamira, 2002).

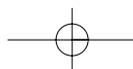
La manipulación de genes ha permitido el desarrollo de variedades de maíz "Alta Lisina-Alto Aceite" que contienen aproximadamente 29% más de lisina que el maíz Alto Aceite típico y 36% más que el

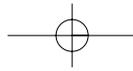
maíz convencional dentado amarillo (O'Quinn *et al*, 2000). El aumento del contenido de lisina es el resultado de una inserción transgénica que comanda la expresión de una enzima, la "aspartokinasa". Esta enzima cataliza el primer paso en el metabolismo de la lisina, la metionina y la treonina a través de la fosforilación del aspartato (Falco *et al*, 1995).

Al comienzo del siglo XX se descubrió el maíz "Waxy" con endosperma ceroso (Collins, 1909) con alto contenido de amilopectina, controlado por un gen simple recesivo. El uso de este maíz en la alimentación animal se debe a un mayor contenido de energía digestible respecto del maíz dentado normal como consecuencia de la proporción amilopectina/amilosa [waxy 100/0 vs dentado normal 75/25] (Rosa *et al*, 1977). En la actualidad, algunos autores comprobaron que la alimentación de cerdos con maíz waxy provocaba un aumento del crecimiento pero no afectaba los parámetros de calidad de res (Camps *et al*, 2003). Mientras que otros resultados muestran que el maíz waxy provoca una reducción del espesor de grasa subcutánea e incrementa el porcentaje de músculo (Swantek *et al*, 1996).

Consideraciones nutricionales del maíz en la alimentación de cerdos

El progreso genético de la especie porcina ha generado líneas especializadas para la producción de carne magra. En algunos genotipos, la relación músculo/grasa puede variar desde 1 en cerdos grasos, a más de 4 en los cerdos magros (Noblet *et al*, 1991). Estos cambios genéticos generan una revalorización de los nutrientes en función del crecimiento de los diferentes tejidos corporales. En la cría de cerdos, la ingestión de alimento afecta la deposición de grasa: a mayor consumo voluntario, mayor es la retención de energía corporal. Los cerdos magros son mucho más eficientes y el requerimiento de energía es función del depósito de proteínas corporales (Henry, 1993). Estos genotipos tienen un menor consumo voluntario, por lo cual requieren alimentos con mayor densidad de nutrientes para aprovechar su mayor eficiencia en la producción de carne. Se ha mencionado que el contenido de energía de un alimento representa más del 60% del costo. Esto es fundamental para comprender la importancia del aporte de





nutrientes del maíz en la producción porcina. El mejoramiento zootécnico y el ahorro en la formulación del alimento definen el valor agregado que representa el uso del grano de maíz (Bajjalieh, 1996).

A pesar de que los cerdos utilizan más eficientemente la energía contenida en las materias grasas en relación con la contenida en los granos, es mucho más fácil manejar e incorporar grasa a las dietas con el uso de maíces de Alto Aceite (Adams y Jensen, 1984). El aceite de maíz tiene mayor digestibilidad que otras grasas de extracción de origen animal, reduce el contenido de urea en sangre y mejora la retención de nitrógeno corporal (Cera *et al*, 1988). Un beneficio extra de la utilización de grasa en las dietas es que incrementa la utilización de energía en ambientes cálidos. Las dietas con grasa reducen el incremento calórico debido a la alimentación, lo cual es beneficioso para el estrés por altas temperaturas.

En valores absolutos, el grano de maíz puede aportar el 27 ó 46% del tenor de proteína de la dieta para cerdos de 40 ó 90 kg de peso vivo respectivamente. La aparición de híbridos Alta Lisina y Alto Aceite ha permitido disponer de un material con mayor valor nutritivo que los maíces tradicionales, lo que ha reducido la demanda de soja en el alimento, sin reducir la respuesta animal (Burgoon *et al*, 1992). Esto provoca una menor producción de deyecciones de nitrógeno, lo que contribuye a disminuir los problemas de contaminación ambiental.

En la Argentina se cultivan maíces modificados genéticamente a partir de 1998, tolerantes a plagas o a herbicidas (ver sección Biotecnología). Los maíces genéticamente modificados no presentan

diferencias ni en la respuesta zootécnica, ni en calidad de res de cerdos en crecimiento cuando son comparados con maíces convencionales (Hyun *et al*, 2004). Tampoco es posible detectar ADN o proteínas provenientes de la modificación genética en los productos derivados de estos y otros animales, ya sea carne, leche o huevos (Flachowsky, 2005).

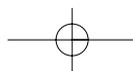
Conclusiones

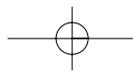
La mayor demanda de carnes provocará un desplazamiento de las regiones tradicionales de crianza de cerdos hacia zonas donde exista gran disponibilidad de granos forrajeros para reducir los costos de producción (Ellis *et al*, 2000), y además el uso maíces de alto valor permitirá reducir los problemas de polución ambiental.

La Argentina es un gran productor de maíz forrajero, por lo cual debe cuidar su valor nutritivo potencial mejorando las condiciones de cultivo, así como el mantenimiento de la calidad del grano durante el periodo de almacenamiento poscosecha.

Existen condiciones óptimas para una producción sustentable de carnes porcinas dentro de un contexto que satisfaga los conceptos de calidad y de trazabilidad. No existen razones justificadas para prescindir del valor agregado que se logra con la transformación de la producción de maíz en carnes porcinas.

Fortalecer el sistema agrícola porcino permitirá una revalorización de las carnes porcinas en el mercado interno y la apertura del mercado internacional.





Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de aves

Laerte Moraes y Federico Vartorelli

El maíz ha sido consumido por miles de años de distintas maneras. Recientes publicaciones han mencionado el hecho de que más de 600 productos son elaborados utilizando, total o parcialmente, el maíz como materia prima. Además de la expansión de este cultivo en sus usos, la producción mundial ha crecido sostenidamente en el último siglo, transformándolo hoy día en el principal cultivo en volumen a nivel mundial. Al observar estos hechos, cabe reflexionar sobre el motivo de tal expansión. Sin lugar a dudas la composición del grano ha favorecido enormemente su expansión y es allí donde radica el éxito del cultivo.

El grano de maíz está constituido fundamentalmente por tres tejidos, el endosperma, el embrión y el pericarpio. El 10-11% del grano está representado por el embrión, que es donde el aceite y las proteínas con mayor valor biológico se encuentran depositados. El maíz tiene como característica principal ser una excelente fuente de energía, y es por esto que es un ingrediente mayor en nutrición animal. Pero, además de aportar energía, el maíz es fuente de proteínas, lípidos, pigmentos, vitaminas y minerales. La energía es el principal valor nutricional dentro del grano de maíz y tiene dos prin-



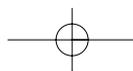
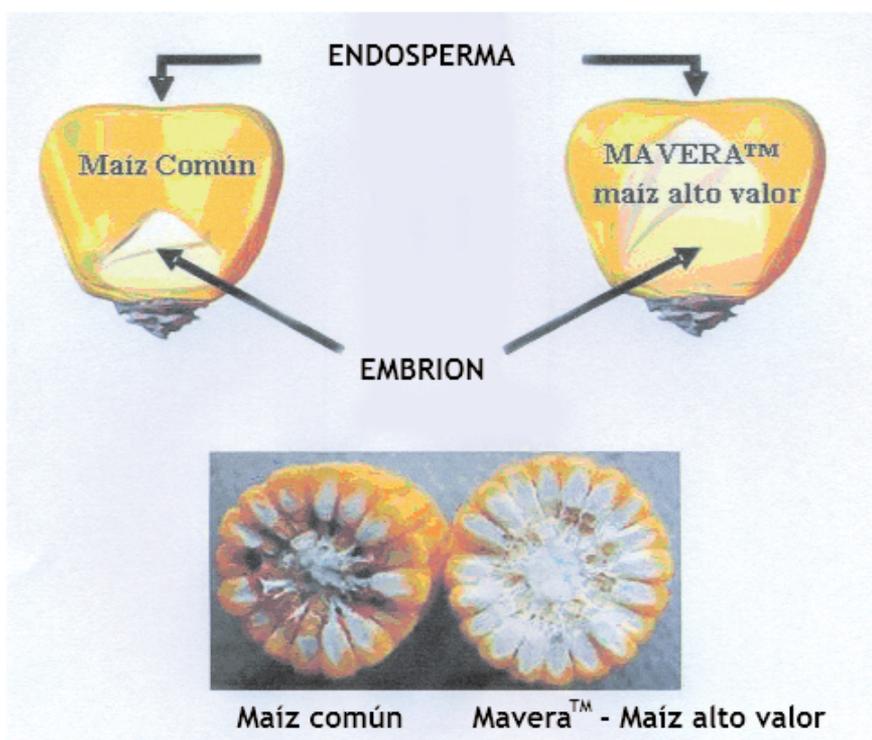
cipales orígenes: el almidón y el aceite. El almidón tiene alta digestibilidad en aves (90 a 95%) y representa el 90% de la energía del maíz, mientras que el aceite contribuye con el restante 10%. La utilización de los carbohidratos tiene como objetivo mantener las actividades metabólicas y el almacenamiento de energía en forma de glucógeno y grasas.

Las grasas son utilizadas en las dietas de aves como fuente de energía y de ácidos grasos. El perfil de los ácidos grasos del aceite utilizado en las dietas

de aves determina características importantes en la composición final de los productos para consumo humano. El incremento de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta de ponedoras, como el ácido linoleico, determina un aumento en el tamaño de los huevos, al igual que una mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados Omega 6 y Omega 3.

La proteína es utilizada por las aves en diversos procesos metabólicos, siendo los más importantes, desde el punto de vista productivo, la producción de carne y huevos. Existen proteínas de origen vegetal (cereales y oleaginosas) y animal (harina de carne y huesos, harina de pescado, harina de plumas, etc.) que pueden ser utilizadas en nutrición ani-

Figura 1 - Comparación Maíz común y Maverá™ maíz alto valor.





mal. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las fuentes de proteína de origen animal constituyen potenciales riesgos de enfermedades como salmonelosis y encefalopatía espongiiforme o "mal de la vaca loca", en bovinos. Por lo tanto, la utilización de proteínas de origen vegetal tiene una gran ventaja en lo que se refiere a seguridad alimentaria.

Otro nutriente de importancia en el maíz es la xantofila. La presencia de este pigmento en las dietas de aves tiene como objetivo aumentar la pigmentación de la carne y principalmente de la yema de los huevos. En determinados mercados, por característica cultural, el consumidor tiene preferencia por carne de pollo y yema pigmentada, aun a pesar de que esto no traiga ningún beneficio nutricional.

El maíz de alto valor (comercializado dentro de un programa denominado MAVERA™) constituye un tipo de maíz especial presente en gran superficie en la Argentina. La diferenciación de estos maíces surge de la modificación en su composición, que presenta un incremento en el contenido de aceite, acompañado por un incremento en el contenido de proteína de alta calidad.

El objetivo de mejoramiento genético en este tipo de maíces fue el de aumentar el tamaño del embrión en relación con el endosperma en el grano. El aceite y las proteínas de mayor valor biológico son naturalmente acumuladas en el embrión del grano de maíz, y por lo tanto el incremento en la relación embrión/endosperma genera un aumento en el contenido de aceite y de proteínas de alta calidad (Figura 1).

Este aumento alcanza hasta un 100% más de aceite que en el maíz común y hasta un 20% en el caso de las proteínas. El incremento en la relación embrión/endosperma es logrado a través de la polinización de híbridos androesteriles (o macho-estériles) con polinizadores fértiles de alto contenido de aceite. Este sistema de producción se denomina asociación varietal.

El valor nutricional generado en los maíces de alto valor motiva que productores de pavos, pollos y cerdos alrededor del mundo adquieran este maíz con un sobreprecio o "premio", respondiendo al valor agregado derivado de estas características.

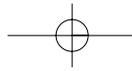
Bibliografía

"El rol del maíz en la alimentación animal"

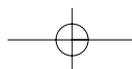
- Adams, K.L. and A.H. Jensen. 1984. Comparative utilization of in-seed fats and the respective extracted fats by the young pig. *J. Anim. Sci.* 59: 1557.
- Adeola, O. & N.L. Bajjalieh. 1997. Energy concentration of high-oil corn varieties for pigs. *J. Anim. Sci.* 75: 430.
- Adrian J.; J. Potus & R. Frangne. 1995. *La science alimentaire de A a Z*. Ed. : Lavoisier, Paris. pp. 35.
- Alencar Naas I. 2002. Rastreabilidad: una exigencia do mercado globalizado. Congreso Latino Americano de Suinocultura. Foz d'Iguazu. Brasil.
- Azcona J; M. Schang y O. Cortamira. 2001. Caracterización nutricional del Maíz de Alto Valor. In: Informe de la Reunión Rennesen, Pilar, Argentina.
- FAO stat, 2002 y 2003. Web FAO org.
- Bajjalieh, N.L. 1996. Added-value grains to have expanded value in feed. *Feedstuffs*. 68 (10) 22.
- Bauman, D.E. and Griinari, J.M. 2001. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science*. 70 (15-29)
- Bidner T.D., Schupp, A.R., Mohamad, A.B., Rumore, N.C., Montgomery R.E., Bagley, C.P. and McMillin, K.W. 1986. Página: 19
- Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford_brahman steers finished on all-forage or high energy diet. *J. Anim.Sci.* 62, 381-387.
- Boyer C. D. & L.C. Hannah. 1994. Kernel mutants of corn. In: A.R. Hallauer (Ed.) *Specialty Corns*. CRC Press, Ann Arbor, Michigan, USA. pp 2.
- Burgoon, K.G.; J.A. Hansen; D.A. Knabe and A.J. Bockholt. 1992. Nutritional value of quality protein maize for starter and finisher swine. *J. Anim. Sci.* 70: 811.
- Camps, L.K.; L.L. Southern and T.D. Bidner. 2003. Effect of carbohydrate source on growth performance, carcass traits, and meat quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 2488.
- Cera, K.R.; D.C. Mahan and G.A. Reinhart. 1988. Weekly digestibilities of diets supplemented with corn oil, lard or tallow by weaning swine. *J.Anim.Sci.* 61: 763.
- Collins, G. N.. 1909. A new type of Indian corn from China. *U.S.D. A. Bur. Plant Ind. Bul* p. 167.
- Cortamira, O.. 2002. Evaluación de MAV con dietas para cerdos. In: *Maíz Alto Valor, capitulo cerdos*, editado por Rennesen LLC, Argentina.

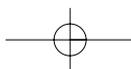
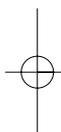
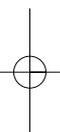
- Cortamira, O. 2003. Crecimiento e innovaciones en la producción de cerdos. In: *Memorias del Seminario "Las ciento y una"*, Bolsa de Cereales, Buenos Aries, Argentina.
- Cortamira, O. 2004. Maíz en la formulación de alimentos balanceados para cerdos. In: *Actas del Congreso MundoMaíz, Integrando la Cadena de Valor*. Buenos Aires, Argentina. p.213.
- Della Valle, C. y García, M. 2003. El cultivo de maíz en alerta amarillo. www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/publicaciones/agricultura/maiz.zip.
- Depetris, G.J., Santini, F.J., Pavan, E., Villarreal E.L. Rearte, D.H. y Pensel, N.A. 2003. Efecto del grano de maíz alto en aceite en el sistema de engorde a corral: 3- Perfil de ácidos grasos de la carne. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 23. Supl.1 pp 60-61.
- Descalzo, A.A., Insani, E.M., Margaria, C.A., Garcia, P.T., Josifovich, J. and Pensel, N.A. 2000. Antioxidant status and lipid oxidation in fresh Argentine beef from pasture and grain-fed steers with vitamin E supra-nutritional supplementation. 46th International Congress of Meat Science and Technology. "Meat Diversifies Meal" Proceedings. pp 562.
- DeVisser H. 1993. Characterization of carbohydrates in concentrates for dairy cows. En : *Recent advances in animal nutrition*. PC Garnworthy, D.J.A. Cole (Eds). Nottingham University Press.
- Eggum, B.O.; J. Dumanovic; D. Misevic and M. Denic. 1983. Grain yield and nutritive value of high oil, opaque and waxy maize hybrids. *Journal of Cereal Science* 1: 139.
- Ellis M.; R. A. Easter and O. Cortamira. 2000. New Technologies to improve nutritional efficiency and product quality from swine production. In: *University of Illinois and INTA Cooperative Research Agreement*. Buenos Aires, Argentina.
- Falco S.C.; T. Guida; M. Locke; J. Mauvasi; C. Sanders; R.T. Ward and P. Webber. 1995. Transgenic canola and soybean seeds with increased lysine. *Biotechnology* 13: 577.
- Flachowsky, G, Chesson, A y Aulrich, K. 2005, Animal nutrition with feeds from genetically modified plants, Review Art. *Archives of Animal Nutrition* 59(1): 1 - 40
- Fraguío, M. y Martínez Quijano, J. 2005. Mercados Regionales de Maíz. *MAIZAR. Boletín Técnico* N°2. 43-50.
- French, P., O'Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J. and Moloney, A.P. 2003. Fatty acid composition of intra-muscular triacylglycerols of steers fed autumn grass and concentrates. *Livestock Production Science*. 81 (307-317).
- Frenoux, Jm.R., Prost, E.D., Belleville, J.L. And Prost, J.L. 2001. A polyunsaturated fatty acid diet lowers blood pressure and improves antioxidant status in spontaneously hypertensive rats. *J. Nutr.* 131: 39-45.

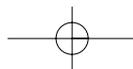




- Gagliostro 2001. Los Nutrientes Bypass en la Alimentación de la Vaca Lechera. Publicaciones INTA EEA Balcarce. 200 páginas.
- Geay, Y, Bauchart, D, Hocquette, J.F, Culioli, J. 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial of meat. *Reprod. Nutr. Dev.* 41:1-26.
- Han, Y. C.M. Parsons and D.E. Alexander. 1987. Nutritive value of high oil corn for poultry. *Poult. Sci.* 66: 103.
- Henry Y.1993. Alimentation du porc pour la production de viande maigre: évolution récentes et perspectives. *INRA Prod. Anim.*, 6 (1) 31-45.
- House C. 1997. Demand for high-oil corn expected to grow rapidly. *Feedstuff* 69 (3) 1.
- Hyum Y.; G.E. Bressner; M. Ellis ; A.J. Lewis ; R.Fisher ; E.P. Stanisiewski and G.F. Hartnell. 2004. Performance of growing-finishing pigs fed diets containing Roundup Ready corn (event nk603), a non transgenic genetically similar corn or conventional corn lines. *J. Anim. Sci.* 82: 571.
- Huerta Leidenz, N. 2002. Caracterización de ganado y carne bovina como base científica de la clasificación de canales en el trópico americano. XI Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. Valera 22 al 26 de Octubre . ULA-Trujillo.
- Immonen, k., Ruusunen, M., Hissa, K., and Puolanne, E. 2000. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science.* 55 (25-31).
- Klont, R.E. Barnier, M.H., Van Dijk, A., Smulders, F.J.M., Hoving-Bolink, A.H., Hulsegge, B. and Eikelenboom, G. Effects of rate pH fall, time of deboning, aging period, and their interaction on veal quality characteristics, 2000, *J. Anim. Sci.* 78:1845-1851.
- Kris-Etherton, P.M., 1999. AHA Science advisory: Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease. American Heart Association, 2280-2284.
- Latimori, N.J., Kloster, A.M., Amigone, M.A., Garcia, P.T., Carduza, F.J. y Pensel, N.A 2003. Efecto de la dieta y del biotipo sobre indicadores de calidad de carne bovina. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 23. Supl.1. pp 352.
- MacDonald, H.B. 2000. Conjugated linoleic acid and disease prevention: A review of current knowledge. *Journal of American College of Nutrition.* Vol.19 N 2, 111s-118s.
- McGuire, M.A. and McGuire, M.K. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA): A ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *Idaho Agric.Exp. Sta. No. 00A02.*
- Marmer, W.N., Maxwell, R.J. and Willians, J.E. 1984. Effects of dietary regimen and tissue site in bovine fatty acid profiles. *J. Anim. Sci.* 59 (109-121).
- Martínez Ferrer, J., Ustarroz, E., Ferrayoli, C.G., Brunetti, M.A., Simondi, J., De Leon, M. y Alomar, D. 2004. Concentración de Ácido linoleico conjugado (c9 t11 CLA) y perfil de ácidos grasos en la carne de novillos sometidos diferentes regímenes de alimentación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 24. Supl.1. pp 13.
- Mertz, E.T.; L.S. Bates & O.E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes the protein composition and increases the lysine content in maize endosperm. *Science.* 145 : 279.
- Nelson O.E. ; E.T. Mertz & L.S. Bates. 1965. Second mutant affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. *Science.* 150 : 169.
- Nicolosi, R.J., Wilson, T.A., Lawton, C. And Handelman, G.J. 2001. Dietary effects on cardiovascular disease risk factors: beyond saturated fatty acids and cholesterol. *Journal of the American College of Nutrition,* Vol. 20, N°. 5, 421S-427S.
- Noblet J et Y. Henry. 1991. Energy evaluation systems for pig diets. In: *Manipulating Pig Production III* (Batterman Ed.) p. 87. Australasian Pig Science Association, Attwood, Victoria (Australia).
- Noblet J.; H. Fortune, X. S. Shi and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72: 344.
- Noblet J.1996. Digestible and metabolic utilization of dietary energy in pig feeds: comparison of energy systems. In: *Recent Advances in Animal Nutrition.* Nottingham University Press. UK.
- Nocek, J.E. y Tamminga, S. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effects on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74:3598-3629.
- Nuernberg , K., Dannenberger, D., Nuernberg, G., Ender, K., Voigt, J., Scollan, N.D., Wood, J.D., Nute, G.R. and Richardson, R.I. *Livestock Production Science.* 2004 In Press.
- O'Quinn, P.R.; J.L. Nelssen; R.D. Goodband; D.A. Knabe; J.C. Woodworth; M.D. Tokach and T.T. Lohrmann. 2000. Nutritional value of a genetically improved high-lysine, high-oil corn for young pigs. *J. Anim. Sci.* 78: 2144.
- O'Sullivan, A., Galvin, K., Moloney, A.P., Troy, D.J., O'Sullivan, K. and Kerry, J.P. 2003. Effect of pre-slaughter rations of forage and/or concentrates on the compositions and quality of retail packaged beef. *Meat Science.* 63 (279-286).
- Peretti M.A. y B. Urquiza. 2003. Evaluación económica-financiera de un proyecto de producción porcina In: *Foro Porcino de la SAGPyA, EEA INTA Marcos Juárez, Subcomisión de Crédito y Desarrollo.*
- Pettigrew J. & Esnaola M. 2000. *Swine Nutrition & Pork Quality.* National Pork Producers Council, Des Moines, IA, USA.
- Priolo A., Micol, D, and Agabriel, J. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. *A review. Anim. Res.* 50 (185-200).
- Realini, C.E., Duckett, S.K., Brito, G.W., Dalla Rizza, M. and De Mattos, D. 2004. Effects of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science* 66 (567-577).
- Rosa J.G.; D.M. Forsyth; D.V. Glover and T.R. Cline. 1977. Normal, opaque-2, waxy, waxy opaque-2, sugary-2 and sugary-2 opaque-2 corn (*Zea mays* L.) endosperm types for rats and pigs. *Studies on energy utilization. J. Anim. Sci.* 44:1004.
- Santini, F.J., Rearte, D.H. y Grigera, J.M. 2003. Algunos aspectos sobre la calidad de las carnes bovinas asociadas al sistema de producción. *Jornada de actualización Ganadera.* 12 de septiembre de 2003. Balcarce. www.inta.gov.ar/balcarce/actividad/capacita/jorn_ganadera.pdf.
- Sauvant D. Chapoutot P.y Archimède H.1994. La digestion des amidons par les ruminants et ses conséquences. *INRA Prod. Anim.*, 7,115-124.
- Sauvant, D. y Van Milgen 1995. Les conséquences de la dynamique de la digestion des aliments sur le métabolisme ruminal et les performances animales. *INRA Prod. Anim.*, 8 (5), 353-367.
- Schaake, S.E., Skelley, G.C., Halpin, E., Grimes, L.W., Brown, R.B., Cross, D.L. and Thompson, C.E. 1993. Carcass and meat sensory traits of steers finished on fescue and clover, summer forage, or for different periods in drylot. *J. Anim. Sci.* 71, 3199-3205.
- Sève B. 1994. Alimentation du porc en croissance: intégration des concepts de protéine idéale, de disponibilité digestive des acides amines et d'énergie nette. *INRA Prod. Anim.* 7 (4) 275.
- Swantek P.M.;R.C. Zimprich; M.J. Marchello and R. L. Harold. 1996. Performance and carcass characteristics of grow-finish pigs fed waxy corn. *J. Anim. Sci.* 74 (suppl. 1) 287 (Abstr.).
- Thompson, J. 2002. Managing meat tenderness. *Meat Science* 62 (295-308).
- Van Soest, P.J. 1982. Analytical systems for evaluation of feeds. *En : Nutritional ecology of the ruminant.* O y B Books, Inc. Corvallis, Oregon, USA. pp 75-94.
- Warriss, P.D. 2000. *Meat Science. An introductory text.* CABI Publishing. Cab International. ISBN 0-85199-424-5.
- Weber, E.J. 1978. Corn lipids. *Cereal Chem.* 55: 572.
- Wood, J.D., Richardson, R.I, Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R. And Enser, M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science* 66:21-32
- Wright, K.N..1987. Nutritional properties and feeding value of corn and its by-products. In: *Corn Chemistry and Technology.* American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota. P. 273.







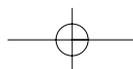
Composición y aspectos nutricionales

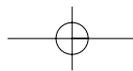
En esta sección se reúnen tres trabajos que presentan información sobre la composición, el perfil nutricional y las características del maíz como fuente alimentaria, en sus diferentes formas de consumo habitual.

** Componentes nutricionales del grano de maíz.
María Luz Pita Martín de Portela*

** Perfil de la composición del maíz cultivado en la Argentina.
Recopilación a cargo de la Ing. Carla Cechin,
con el aporte de datos e información de los
Dres. Guillermo Eyherabide, Francisco Borrás y Bqca.
MSc Mabel Percibaldi de INTA Pergamino, MAIZAR
y Federico Vartorelli de Renessen.*

** Aporte nutricional de las principales formas de
consumo del maíz en la alimentación humana.
Margarita Olivera Carrión*





Componentes nutricionales del grano de maíz

María Luz Pita Martín de Portela



En este capítulo analizaremos el contenido en nutrientes del grano de maíz, comparando los datos existentes en las Tablas Nacionales, elaboradas por Argenfoods, con los provenientes de las Tablas Alemanas y los de la extensa base de datos del ILSI, que ha compilado datos de composición de maíz cultivado en diferentes años y en diversas provincias argentinas. Es importante destacar que los datos de las actuales tablas argentinas pertenecen a la base de datos del Argenfoods que, con el apoyo del Capítulo Argentino de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición (CASLAN), ha trabajado en los últimos 20 años para examinar, revisar y actualizar los datos publicados en las Tablas de Composición de Alimentos elaboradas por el Instituto Nacional de la Nutrición en la década del '40. La revisión y compilación de los nuevos datos se realizó en el marco de las directivas de Infoods (International Network of Food Composition Data), cuya misión es estimular y coordinar esfuerzos orientados a mejorar el estado de datos sobre composición de alimentos a través del mundo.

Composición centesimal

En la tabla 1 figura la composición centesimal del grano entero de maíz según los valores de las Tablas Alemanas; de los de la base de datos del ILSI de variedades cultivadas en la Argentina, y de las Tablas Nacionales.

En los tres casos los valores se han expresado, como es habitual en las Tablas de Composición de Alimentos, por 100 g de grano de maíz tal como es comercializado (o sea en base húmeda).

El aporte energético del maíz, principal alimento aportador de energía en el continente americano, es similar a otros cereales que han constituido

la base energética de la alimentación europea. Como puede observarse en la tabla 1, el valor energético que figura en las Tablas Nacionales es superior al de las alemanas y al calculado en el presente trabajo teniendo en cuenta los valores de la base de datos del ILSI. Esta discrepancia se debe a que el valor energético se ha calculado multiplicando el contenido de nutrientes aportadores de energía por los factores de Atwater (proteínas y carbohidratos, 4 Kcal/g y lípidos, 9 Kcal/g). Sin embargo, los hidratos de carbono digeribles en las tres tablas se calculan por diferencia [100- (% de agua + % de proteínas + % de lípidos + % de cenizas + % de fibra)]. En las Tablas Nacionales, al no

figurar el dato de fibra, existe una sobreestimación de los hidratos de carbono digeribles y, por consiguiente, del valor energético.

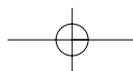
Proteínas: el porcentaje de proteínas muestra variabilidad según la fuente consultada, lo cual se relaciona -fundamentalmente- con la variedad analizada y con los factores de conversión de N (determinado por Kjeldahl) en proteínas. Las Tablas Nacionales y la base de datos del ILSI han utilizado el factor de 6,25, mientras que las alemanas utilizan 5,80.

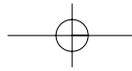
Por otra parte, desde el punto de vista de la calidad, se debe tener en cuenta que no todas las proteínas son equiva-

Tabla 1 - Composición centesimal comparativa de los granos de maíz

	Tablas Alemanas ¹	ILSI, Argentina, 2005 ²	Tablas Nacionales, 2002 ³
Energía Kcal/100 g (valores calculados)	327	306	346
Proteína*	8,5 (7,61-9,84)	9,53 (6,93-11,8)	9,5
Grasa*	3,8 (3,2-4,3)	3,6 (2,4-4,9)	0,9
Hidratos de carbono digeribles (calculados)*	64,7	72,8 (69,1-76,9)	74,9
	Método enzimático	Método de detergente neutro	No determinada
Fibra total *	9,2	14,01 (10,3-22,5)	
Cenizas *	1,3 (1,12-1,51)	1,2 (0,86-1,65)	1,30
Humedad *	12,5 (12,0-13,2)	12,8 (10,7-16,2)	13,4

* g/100 g de grano entero, promedio (entre paréntesis, rangos, si los hay)
¹ Datos de composición de maíz cultivado en Europa. Tomados de: Sauci, Fachmann, Kraut. Food Composition and Nutrition Tables. 5th ed. Medpharm, Scientific Publishers, Stuttgart, 1994.
² Datos de maíz entero (n = 109) proveniente de cultivos argentinos de las Provincias de Buenos Aires y de Córdoba, años 1999 y 2001, según los métodos AOAC, 2000. www.cropcomposition.org
³ Datos tomados de la base Argenfoods, Universidad Nacional de Luján, 2002. Elaborados en el marco del proyecto INFOODS (International Network of Food Data System, Universidad de Naciones Unidas y FAO).





lentes para su utilización por el organismo: esa capacidad, que se define como valor nutritivo (VN), depende de la digestibilidad y de la composición en amino ácidos esenciales (a.a.e.).

La digestibilidad (D) (relación entre el nitrógeno absorbido y el ingerido) de la proteína del maíz es inferior a la de las proteínas animales (carne, leche, huevo), que es en promedio de 95%. Ese valor se toma como referencia (100%) para expresar la digestibilidad de otras proteínas o de dietas mixtas como digestibilidad relativa. La digestibilidad relativa del maíz es de 89% y en las dietas donde el maíz constituye la base de la alimentación es variable en función de su composición, pudiendo oscilar entre 82 y 88%, por la presencia de fibra y otros componentes.

Valor biológico (VB): es la capacidad de las proteínas de reemplazar el nitrógeno que el organismo pierde inevitablemente como consecuencia de sus procesos biológicos o "la fracción del nitrógeno absorbido que es retenido por el organismo para su mantenimiento y crecimiento". El VB depende del aporte de los aminoácidos esenciales (a.a.e.) y se puede predecir si se compara la composición de la proteína en estudio con una proteína patrón que refleje las necesidades de a.a.e. del sujeto a quien va destinada. La proteína de referencia para el individuo menor de un año se basa en la composición en a.a.e. de la leche materna (Tabla 2). Para el adulto, la actualmente aceptada refleja los requerimientos de a.a.e. determinados por técnicas de recambio proteico y cinética de oxidación de aminoácidos marcados con ¹³C. Estas cifras son cercanas a los de los niños en edad preescolar (1 a 3 años) (Tabla 2).

La determinación de los a.a.e. en la proteína en estudio y su comparación con la proteína de refe-

rencia permite calcular el Puntaje Químico, Número Químico (N.Q.) o "Chemical Score" (C.S.):

Chemical Score

$$(CS) = \frac{\text{mg de a.a./g de proteína en estudio} \times 100}{\text{mg de a.a./g de proteína de referencia}}$$

Al porcentaje del a.a.e. que está en menor proporción (o mayor déficit) -aminoácido limitante- se lo denomina Número Químico o Puntaje Químico y representa una buena aproximación al Valor Biológico cuando se utiliza una proteína de referencia adecuada. El a.a. presente en menor proporción (o mayor déficit) condicionará la cantidad total de proteína sintetizada, limitando a ese nivel la utilización de los demás a.a.e., por dicha razón se lo denomina "aminoácido limitante". Con los valores de D y NQ se podrá calcular el Valor Nutritivo:

$$\text{Valor nutritivo} = [\text{N.Q.} \times \text{Digestibilidad}] / 100$$

Las proteínas naturales tienen una secuencia de aminoácidos limitantes, siendo el primer limitante la lisina en los cereales y los aminoácidos azufrados en las proteínas animales y leguminosas. El segundo a.a. limitante es variable, siendo frecuente que sea el triptofano o la treonina en los cereales (Tabla 3).

Por esta razón, cuando se trata de establecer el nivel de seguridad de la ingesta proteica, o sea la cantidad de proteína necesaria para atender las necesidades fisiológicas, deberán efectuarse las correcciones adecuadas de acuerdo a las exigencias en a.a.e. del individuo y a la composición comparativa de la proteína a administrar.

Al comparar la composición en a.a.e. de las proteínas naturales más comunes (Tabla 3) con las proteínas de referencia de la tabla 2 puede observarse que tanto las proteínas de origen animal como la de soja cubren las necesidades de a.a.e. de las personas mayores de un año, mientras que las del maíz y del trigo son deficientes en lisina, aportando, respectivamente 59 y 41% del requerimiento del preescolar. Por consiguiente el VN del maíz para el preescolar será:

$$\text{VN} = [59 \times 89] / 100 = 53 \%$$

Este VN de 53% implica que un preescolar que pese 20 kg, cuyas necesidades proteicas son de 1 g/kg/d, necesita consumir:

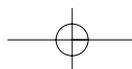
$$[(1 \times 20) / 53] \times 100 = 37.8 \text{ g de proteína de maíz.}$$

Aminoácido	mg /g. de proteína		
	Leche de Mujer	Pre-escolar	Adulto
Histidina	23	18	17
Leucina	101	55	52
Isoleucina	57	25	23
Lisina	69	51	47
Azufrados	38	25	23
Treonina	47	27	24
Fenilalanina+ tirosina	87	47	41
Triptofano	18	7	6
Valina	56	32	29

* Institute of Medicine of the National Academies (USA), 2002.

a. a. e. (mg/g. de proteína)	a. a. e. (mg/g. de proteína)					
	Leche Vaca	Carne	Huevo	Soja	Maíz	Trigo
Histidina	27	34	22	25	31	21
Leucina	95	81	86	78	146	71
Isoleucina	47	48	54	48	42	37
Lisina	78	89	70	61	30	21
Azufrados	33	40	57	31	30	40
Treonina	44	46	47	43	41	27
Fenilal+tir	102	80	93	88	110	70
Triptofano	14	12	17	15	7	11
Valina	64	50	66	52	57	41

* Institute of Medicine of the National Academies (USA), 2002.





Teniendo en cuenta un porcentaje de proteínas promedio de 8,5%, la cantidad de maíz que debería consumir para cubrir las necesidades de a.a.e. es de 444 g de maíz. Esta cifra da idea de la imposibilidad de cubrir las necesidades proteicas de los niños utilizando solamente maíz como fuente proteica. La utilización de la proteína se podría mejorar agregando el a.a. limitante (suplementación), lisina en este caso, lo cual no es una solución práctica ni económica.

No obstante, la calidad de la proteína del maíz se puede mejorar proporcionando alimentos que contengan lisina en una proporción que permita "complementar" la deficiencia del maíz, como son las proteínas animales o las de leguminosas. En tiempos antiguos esta complementación se realizaba en el continente americano utilizando en la alimentación proteínas provenientes de frijoles y de pseudocereales (quinoa, amaranto) que permitía mejorar la calidad de la proteína del maíz. En la alimentación actual esta complementación se puede hacer consumiendo proteínas de origen animal (leche, carne, huevo), por ej: 100 g de maíz con 300 ml de leche de vaca.

Vitaminas

El contenido vitamínico del maíz, al igual que el de los demás alimentos y nutrientes, depende de factores intrínsecos (especie y variedad) y extrínsecos (tipo de suelos y procesado de la materia prima). Por ello, las cifras de contenido vitamínico pueden presentar importantes diferencias según el país de origen y la zona, aun en el mismo país.

En la tabla 4 se han volcado los datos provenientes de: 1) las Tablas Alemanas, que contienen datos actualizados, con promedios y, en la mayor parte de los casos, con rangos; 2) Tablas Norteamericanas (Handbook 8), que contienen datos de grano de maíz comercial americano; 3) las Tablas del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), que carecen de datos de muchas vitaminas; 4) la base de datos del ILSI.

Vitaminas hidrosolubles

Las vitaminas hidrosolubles se encuentran fundamentalmente en la capa de aleurona y en menor medida en el germen y en el endospermo. Esta distribución tiene importancia pues en la elaboración de los productos que se consumen puede haber pérdidas importantes. Aunque (como puede apreciarse en la tabla 4) los rangos del contenido de las distintas vitaminas son amplios, hay buena concordancia entre las tablas consultadas.

Es importante remarcar que la vitamina B12 se encuentra solamente en alimentos de origen animal (carne, aves, huevos, lácteos), por lo cual el maíz carece de ella. El maíz maduro tampoco contiene vitamina C, si bien en el "choclo" existe una pequeña cantidad que se pierde durante la maduración y almacenamiento.

Vitamina B1: tiamina o aneurina son los nombres dados a esta sustancia capaz de prevenir o curar los síntomas clínicos conocidos bajo el nombre de "beri-beri", una enfermedad nutricional prevalente en

los países asiáticos donde el arroz constituye el alimento básico. La tiamina pirofosfato participa, como co-decarboxilasa, en el metabolismo energético. Por ello, es habitual expresar su contenido en los alimentos y las Ingestas Recomendadas en relación a 1000 Kcal. El contenido promedio de B1 en el maíz entero es importante, representando alrededor de 1,1 mg/1000 Kcal. La tiamina es relativamente estable al calor seco pero se destruye rápidamente en soluciones neutras o alcalinas, y es sensible a la oxidación, por lo cual se pierde en el proceso de nixtamalización del maíz.

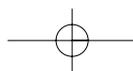
Vitamina B2: riboflavina, lactoflavina u ovolavina, constituye el factor termoestable del complejo B, extraído por Funk en 1912. Su molécula se halla constituida por una isoalloxazina unida a molécula de ribosa. Se encuentra en el organismo bajo las formas activas de flavin-mono-nucleótido (FMN) y flavin-adenina-dinucleótido (FAD), grupos prostéticos de flavoproteínas que intervienen en diversas reacciones de oxido-reducción relacionadas con el metabolismo de los hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Por ello, al igual que en la vitamina B1, es habitual expresar su contenido en los alimentos y las Ingestas Recomendadas en relación a 1000 Kcal. El contenido promedio de B2 en el maíz entero también es importante, representando 0,6 mg/1000 Kcal.

Niacina: nicotinamida o vitamina PP (preventiva de la pelagra), comprende los compuestos derivados del ácido nicotínico o piridin-3-carboxílico que poseen, cualitativamente, la actividad biológica de la nicotinamida. La niacina figura en mg en la mayoría de las tablas, pero se debe tener en cuenta que la niacina también se produce en el metabolismo del triptofano, por lo cual el contenido de los alimentos se debe expresar como "equivalentes de niacina", o sea la niacina preformada más la que proviene del metabolismo del triptofano (1 mg/60 mg de triptofano).

La niacina es sumamente estable al calor, tanto seco como en solución, pero en el maíz se encuentra en su mayor parte "no biodisponible" formando los compuestos niacitina y niacinógeno, de los que no es liberada durante la digestión en el intestino. Por ello, cuando el maíz fue introducido en el norte de España y de Italia y se lo trató para panificación, como se acostumbraba hacer con el trigo, surgió en las poblaciones pobres la enfermedad carencial pellagra, que llevó al descubrimiento de esta vitamina. Sin embargo en América, de modo intuitivo, el maíz era molido y tratado durante toda la noche con agua de cal. Este proceso recibió el nombre de "nixtamalización". Mediante este tratamiento se libera la niacina de los compuestos niacitina y niacinógeno, y puede ser absorbida en el intestino.

Los datos de las diversas tablas suelen representar el contenido total y no informan acerca de la biodisponibilidad. El contenido de niacina en el maíz antes y después de la nixtamalización es, respectivamente, de 0,04 y 2,6 mg/100 g, que representan 3,2 y 10,0 equivalentes de niacina por 1000 Kcal. Después de la nixtamalización se supera la cifra recomendada de 6,6 equivalentes de niacina/1000 Kcal, mientras que el maíz sin nixtamalizar es francamente deficiente.





Vitamina B₆: esta vitamina presenta una gran diversidad de formas activas o vitámeros: piridoxal; piridoxol o piridoxina; piridoxamina. Además, todas estas formas se fosforilan para dar los respectivos derivados: piridoxal-fosfato (PLP), piridoxina-fosfato (PNP) y piridoxamina-fosfato (PMP). La vitamina B₆ es estable al calor y sólo se destruye por acción de elevadas temperaturas durante la esterilización. Su contenido en el maíz es considerable.

Acido fólico: las funciones del ácido fólico están relacionadas con el transporte y transferencia de grupos de un carbono (metilo, formilo, metenilo, metileno o

forminino), necesarias para la biosíntesis de purinas y de timina, lo cual explica su papel fundamental en el crecimiento y reproducción celular y en la hematopoyesis. Su deficiencia produce anemia megaloblástica. El contenido en el maíz es considerable pero se debe tener en cuenta que se destruye fácilmente por calentamiento.

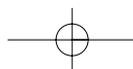
Vitaminas liposolubles

Vitamina A y carotenoides: la denominación de vitamina A se aplica genéricamente a todos los compuestos derivados de la β -ionona, que poseen cualitativamente la actividad biológica del trans-reti-

Tabla 4 - Contenido en vitaminas y algunos minerales del grano de maíz entero por 100 g de producto comestible

	Tablas Alemanas ¹	HBN 8 ²	INCAP ³	ILSI ⁴
	Promedio \pm DE			
Vitaminas Liposolubles				
Carotenos totales, μ g	1290 (440-1330)		640-1130	ND
β Caroteno, μ g	923 (74-960)	97	326-576	ND
Criptoxantina	370		141-240	ND
α Caroteno, μ g	-	63	ND	ND
Vit. A, μ g Eq. R	184 (43-190)	11 μ g EqA R	66-116	-
Carotenos no provitamina A:				
Luteína + Zeaxantina, μ g	2690	1355	ND	ND
Tocoferoles totales (mg)	6,61 (2,01-9,92)	2,28	ND	-
α tocoferol (mg)	1,5 (0,2-1,9)	0,42	ND	-
β tocoferol (mg)	-	0	ND	-
δ tocoferol (mg)	-	1,86	ND	-
Vit. E, mg Eq.	2,01 (0,36-2,74)	0,61	ND	0,88 (0,15- 6,1)
Vit. K, μ g	40	0,3	ND	ND
Vitaminas Hidrosolubles				
Vit. B1 mg	0,360 (0,2-0,6)	0,385 \pm 0,052	0,43	0,33 (0,14-0,47)
Vit. B2 mg	0,2 (0,1-0,24)	0,201 \pm 0,034	0,10	0,10 (0,07-0,16)
Vit. B6 mg	0,4	0,3 \pm 0,04	-	0,56 (0,40-0,64)
Niacina, mg	1,5 (1,0-2,0)	3,6 \pm 0,54	1,9	1,86 (1,34-3,16)
Ac. Fólico μ g	26 (20-40)	25	ND	54 (29-98)
Minerales				
Sodio mg	6 (1-10)	35 \pm 6	ND	17 (13,5-19,8)
Potasio, mg	330 (310-350)	287 \pm 10	ND	339 (266-418)
Calcio, mg	15 (10-19)	6 \pm 1	9	4 (3-6)
Fósforo, mg	256	241 \pm 9	290	299 (229-376)
Magnesio, mg	120	127 \pm 19	ND	115 (83-140)
Hierro, mg	(0,5-2,4)	3,5 \pm 0,4	2,5	1,9 (1,4-2,4)
Zinc, mg	2,5	1,82 \pm 0,1	ND	2,1 (1,5-2,8)
Cobre, mg	0,07-0,25	0,2 \pm 0,02	ND	0,15 (0,06-0,27)

ND: no determinado
¹Souci.Fachmann.Kraut. Food Composition and Nutrition Tables. 5th ed. Medpharm, Scientific Publishers, Stuttgart, 1994.
²Agriculture Handbook no 8.- USDA Nutriente Data Laboratory, 1998. Datos de maíz amarillo.
³INCAP. Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). Guatemala, 1975.
⁴ILSI Crop Composition Database. Datos de maíz entero, proveniente de cultivos argentinos de las provincias de Buenos Aires y de Córdoba, años 1999 y 2001. www.cropcomposition.org





nol. El retinol es un alcohol isoprenoide, compuesto por un ciclo-hexano y una cadena lateral que posee cinco dobles enlaces conjugados todo-trans. El retinol se encuentra solamente en los alimentos de origen animal (leche entera, manteca, crema y quesos) y como vitamina A se suele expresar en Unidades Internacionales (UI), cuya equivalencia en peso es:

1 UI = 0,3µg de retinol (todo trans)

El maíz, al igual que todos los alimentos vegetales, no contiene retinol. Sin embargo, contiene algunos carotenoides que pueden poseer actividad provitamínica A. Su contenido y estructura depende de la variedad de maíz y los maíces más coloreados contienen mayor cantidad de carotenoides.

Desde el punto de vista nutricional se incluyen con la denominación de "provitaminas A" ciertos carotenoides y compuestos afines, los carotenales, presentes en los alimentos vegetales, que tienen la capacidad de originar en el organismo retinol. Para ello, su molécula debe contener, al menos, un anillo de beta-ionona con las mismas sustituciones que el retinol. Los carotenoides son pigmentos coloreados, como alfa, beta y gama caroteno, criptoxantina, licopeno, carotenales y muchos otros. Sin embargo, no todos tienen actividad de provitamina A, la cual está ligada, como ya se mencionó, a su estructura química. Por dichos motivos, se aconseja que las cifras se expresen como "equivalente de retinol" (EqR):

1 equivalente de retinol (EqR) = 1 µg de retinol

El equivalente de retinol (EqR) representa la suma del retinol preformado más el que deriva de la conversión de los carotenos. Sin embargo, para estos últimos, las distintas tablas de composición de alimentos no siempre tienen en cuenta los mismos factores de conversión, lo cual da lugar a cifras variables según la tabla consultada.

El maíz contiene β-caroteno y criptoxantina, carotenoides con actividad provitamínica A. En teoría, en el humano, una molécula de beta-caroteno podría originar dos de retinol, pero en la práctica la conversión depende de numerosos factores. Se ha aceptado que 1 µg β-caroteno es igual a 0,167 µg EqR y que 1 µg de otros carotenoides provit. A es igual a 0,084 EqR. En las Tablas Alemanas figura el contenido de carotenos (totales y provitamina A) en µg y en EqR, teniendo en cuenta los factores de conversión detallados anteriormente. Además, los carotenoides son sensibles a la oxidación, acelerándose ésta por la presencia de luz y por los compuestos derivados de la oxidación de los lípidos, lo cual incide en su biodisponibilidad. Teniendo en cuenta estos factores y el amplio rango de variabilidad de los valores, el aporte del maíz puede variar entre 43 y 190 EqR por 100g.

Sin embargo, el último documento del NAS de EE.UU. sobre Ingestas Recomendadas de vitamina A (Food and Nutrition Board & Institute of Medicine, National Academy of Sciences, Washington, D.C.,

2001) concluye que los factores de conversión son la mitad de los anteriores y define los equivalentes de actividad de retinol (EqAR) como: 1 µg β-caroteno = 0,084 µg EqAR y 1 µg de otros carotenoides provit. A = 0,042 EqAR. Teniendo en cuenta estos últimos factores, el aporte de EqAR variaría entre 22 y 95 µg/100 g. En las Tablas Norteamericanas (HBN8) el contenido de carotenoides provitamina A ya se ha convertido en EqAR teniendo en cuenta estos factores, que no son aceptados por otros autores.

Vitamina E: el término vitamina E se emplea para identificar a todos los tocoferoles y tocotrienoles que poseen cualitativamente la actividad biológica del tocoferol. Las actividades de los distintos tocoferoles con respecto al alfa-tocoferol son: 40%, 10% y 1%, para el β y δ respectivamente, siendo mucho menores para los tocotrienoles. Además, existen isómeros d y l de diferente actividad biológica y ocho esteroisómeros del all-rac α-tocoferol: RRR, RSR, RRS, RSS, SRR, SSR, SRS, SSS, de los cuales las formas activas biológicamente son los esteroisómeros 2R. Por dicho motivo se aconseja expresar el contenido de vitamina E como actividad total de d-alfa-tocoferol y, desde 1980, se considera:

1 equivalente de tocoferol (ET) = 1 mg RRR-α-tocoferol

El maíz contiene una cantidad importante de tocoferoles en el germen, siendo los componentes mayoritarios el α y γ tocoferol, con cantidades menores de α y γ tocotrienoles. Por ello, el aporte de vitamina E que realiza el maíz es considerable si se consume el grano entero, incluyendo el germen, pero disminuye a cifras muy bajas cuando el germen es eliminado para la obtención de aceite.

Vitamina K: el término vitamina K se usa como denominación genérica de la 2-metil 1-4 naftoquinona y de todos los derivados que poseen cualitativamente la actividad biológica de la filoquinona. La filoquinona, también denominada vitamina K1, es la 2-metil-3-fetil naftoquinona. En el maíz la cantidad varía ampliamente según la fuente consultada (tabla 4).

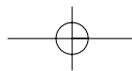
Vitamina D: el maíz no contiene vitamina D.

Minerales esenciales

Sodio y potasio: ambos elementos minerales están ampliamente distribuidos en los organismos. Los alimentos vegetales contienen naturalmente mayor cantidad de potasio que de sodio. En el maíz la relación es elevada y depende de la variedad estudiada.

Calcio y fósforo: el maíz contiene bajo contenido de calcio y elevado de fósforo, como la mayor parte de los cereales. Además, la biodisponibilidad del calcio del maíz es baja por la presencia de factores inhibidores como fitatos y fibra que forman complejos insolubles. La baja relación calcio/fósforo también juega un papel muy importante en la biodisponibilidad del calcio. Sin embargo, luego de la nixtamalización el contenido de calcio se incrementa en un 400%, de tal modo que la relación calcio/fósforo es cercana a 1 y la biodisponibilidad se incrementa.





Magnesio: está en cantidades importantes en el grano entero de maíz, al igual que en semillas, nueces y otros cereales integrales.

Hierro: el maíz tiene cantidades sumamente variables de hierro, pero su biodisponibilidad es muy baja debido al conocido efecto inhibitorio del fitato, presente en el maíz en cantidades importantes y que interacciona en el tracto gastrointestinal con otros componentes como el calcio, inhibiendo la absorción del hierro.

La deficiencia de hierro es la carencia de un nutriente específico más difundida en el mundo, ocupando el tercer lugar entre los problemas nutricionales actuales, siendo los grupos más vulnerables los niños menores de dos años, las embarazadas, las adolescentes y las mujeres en edad fértil. En América Latina constituye, en general, la segunda carencia nutricional y su prevalencia puede alcanzar en algunas poblaciones infantiles hasta 80%. Por otra parte, pueden coexistir otras causas no nutricionales como parasitosis, embarazos repetidos, pérdidas anormales de sangre, etc. Sus causas nutricionales estriban en el bajo consumo de alimentos aportadores de hierro hemínico (principalmente carnes rojas) y/o de vitamina C. Por ello, en diversos países se ha instrumentado la obligatoriedad de fortificar las harinas.

En el caso de países donde existe elevada prevalencia de anemia ferropénica y el maíz constituye el cereal básico (México, Centro América, Venezuela y algunos países africanos) existen desde 1998 propuestas propuestas y legislaciones para la fortificación de la harina de maíz con hierro. En estos casos es importante conocer la biodisponibilidad del compuesto a utilizar, una vez incorporado en la matriz alimentaria. Sólo de este modo será posible calcular cuánto es necesario agregar para lograr la cobertura propuesta en función de las necesidades de los grupos vulnerables. También este hecho debe ser tenido en cuenta en la fortificación de los cereales para desayuno

no a base de maíz, sólo o en mezcla con otros cereales.

Zinc: el zinc (Zn) es esencial para la actividad de más de 70 enzimas y forma parte de proteínas que actúan como receptores hormonales e intervienen en el crecimiento. La deficiencia de zinc parece ser de mayor prevalencia en niños en los países en vías de desarrollo, con consecuencias adversas severas, sobre todo en el crecimiento. Por ello, y pese a no existir signos clínicos patognomónicos ni indicadores bioquímicos sensibles y específicos, en 1993 se incluyó a la deficiencia de zinc como problema de importancia a nivel de Salud Pública, y al zinc entre los micronutrientes cuyo estudio debe ser considerado de interés prioritario.

La biodisponibilidad del zinc depende de factores exógenos y endógenos. De los exógenos los más conocidos son la geofagia y los componentes de la dieta. El zinc de los alimentos vegetales es menos

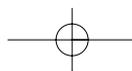
Tabla 5 - Criterios generales para predecir la biodisponibilidad del zinc de la dieta

Dieta	Biodisponibilidad		
	Alta	Moderada	Baja
Proteína animal			
Ingesta de Calcio	< 1 g/día	1 g/día	> 1 g/día
Relación fitato/zinc	< 5	5 - 15	> 15
Biodisponibilidad (promedio)	50%	30%	15%

Tabla 6 - Ingestas Diarias Recomendadas (IR) de algunas vitaminas y algunos minerales y porcentaje de cobertura para un varón adulto que consume 100 g de maíz

	IR	Rango de % de cobertura Entre paréntesis, fuente de datos
Vitaminas		
A (µg Eq. Retinol)	600 **	11 - 19 (INCAP)
D (µg)	5 **	0
E (mg, Eq. Tocoferol)	10 **	1,5 - 6,1 (ILSI)
B1 (mg)	1,2 *	12 - 39 (ILSI)
B2 (mg)	1,3 †	5,3 - 12,3 (ILSI)
B6 (mg)	1,3 †	31 - 49 (ILSI)
Niacina (mg de Eq.)	16 †	Variable según proceso
Ácido Fólico (µg)	400 *	7,3 - 24,5 (ILSI)
B12 (µg)	2,4 †	0
C (mg)	45 **	0
Minerales		
Calcio (mg)	1000 **	Variable según proceso
Fósforo (mg)	700 ***	33 - 54 (ILSI)
Magnesio (mg)	260 **	32 - 54 (ILSI)
Hierro (mg)	27 **	5 - 9 # (ILSI)
Zinc (mg)	14 **	11 - 20 # (ILSI)
Cobre (mg)	0,9 ****	7 - 30 (ILSI)

Porcentaje de cobertura calculado teniendo en cuenta baja biodisponibilidad, debido a la presencia de los factores inhibitorios descritos en el texto.
 * Dietary Reference Intakes (DRI) for Thiamin, Riboflavin, vitamin B6, Niacin, folate, vitamin B12 and choline. Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes, Food and Nutrition Board/Institute of Medicine, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1998.
 ** Human Vitamin and Mineral Requirements Vitaminas hidrosolubles y liposolubles. Calcio, Magnesio, Ioduro, Hierro, Selenio, Zinc, Antioxidantes. WHO/FAO, Roma 2001.
 *** Dietary Reference Intakes, Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D and fluoride. Food and Nutrition Board.
 # Institute of Medicine National, National Academic Press, Washington, D.C., 1997.
 **** Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium and Zinc. Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes, Food and Nutrition Board & Institute of Medicine, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 2001.





biodisponible que el de los animales, debido a la presencia de sustancias que producen complejos de baja solubilidad. De éstas, el más estudiado es el fitato, que forma un complejo fitato-calcio-zinc extremadamente insoluble en las condiciones de pH de la parte superior del intestino delgado, donde se absorbe la mayor proporción del zinc. En base a estos conocimientos, los criterios generales para predecir la biodisponibilidad del zinc de la dieta en relación a su composición tienen en cuenta el consumo de proteína animal, la ingesta de calcio y la relación fitato/zinc (Tabla 5).

Teniendo en cuenta los datos de zinc (mg/100 g) y fitato (mg/100 g) de los maíces argentinos (ILSI): Zn: 2,1; fitato: 623 y de los europeos (Tablas Alemanas): Zn: 2,5; fitato: 940, la relación molar fitato/Zn es de 117 y 130, respectivamente. Estas relaciones, como puede observarse en la Tabla 5, son indicativas de una muy baja biodisponibilidad del Zn. Por ello, como ocurre en las preparaciones latinoamericanas a base de maíz, la biodisponibilidad del Zn es baja y se la considera uno de los factores responsables de la deficiencia de este mineral en algunos países latinoamericanos en vías de desarrollo. Sin embargo, la biodisponibilidad se puede mejorar cuando se consumen preparaciones que utilizan procesos de fermentación.

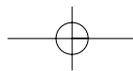
En la Tabla 6 figuran los rangos del porcentaje de cobertura que significaría para un adulto el consumo de 100 g de maíz entero, teniendo en cuenta la variabilidad de los datos existentes y las Ingestas Recomendadas de algunas vitaminas y algunos minerales. Las Ingestas Recomendadas consideradas son las aceptadas por los organismos internacionales cuyas referencias están citadas al pie de la tabla y, salvo para hierro y zinc, son las cifras que entrarán en vigencia en el rotulado nutricional del Mercosur.

Para hierro y zinc es necesario tener en cuenta la biodisponibilidad según la matriz alimentaria y/o dieta, por lo cual los documentos internacionales citados no aconsejan una cifra única, sino criterios para elegir la cifra más conveniente de acuerdo a la composición del alimento o dieta. Este aspecto deberá ser tenido en cuenta en el futuro rotulado nutricional, pese a las dificultades metodológicas que implica su determinación experimental. Por ello, en la Tabla 6 se han aplicado dichos criterios al cálculo del porcentaje de cobertura de estos dos minerales.

Bibliografía

- USDA Agricultural Research Service. Nutrient Data Laboratory, Nutrient Database. www.nal.usda.gov/fnic/etext/000020.html#xtocid2381816
- Bengoa JM, Torun B, Behar M y Scrimshaw NS. Metas Nutricionales y Guías de Alimentación para América Latina. Bases para su Desarrollo. Taller celebrado en Caracas, Venezuela, 22-28 de noviembre, 1988. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, vol. XXXVIII: 373; 1988.
- Closa SJ, de Portela MLP.M, Sambucetti ME, Longo E, Schor I y Carmuega E. Informe de Argentina. Informe sobre estado actual, interés y limitaciones existentes con referencia a "Tabla de Composición de Alimentos en La Republica Argentina". Archivos Latinoamericanos de Nutrición, XXXVII: 694; 1987.
- de Portela MLP.M.- Contenido Vitamínico de los Alimentos y su Relación con el Estado Nutricional en La Argentina. Revista Diaeta (Asociación Argentina de Dietistas y Nutricionistas-Dietistas), 63: 9-18; 1993.
- Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium and Zinc. Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary References Intakes, Food and Nutrition Board & Institute of Medicine, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 2001.
- Dietary Reference Intakes, Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids. Institute of Medicine of the National Academies, 2002.
- Dietary References Intakes (DRI) for Calcium, Phosphorus, Magnesium, vitamin D and Fluoride. Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary References Intakes, Food and Nutrition Board&Institute of Medicine, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1998.
- Dietary References Intakes (DRI) for Thiamin, Riboflavin, vitamin B6, Niacin, folate, vitamin B12 and choline. Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary References Intakes, Food and Nutrition Board&Institute of Medicine, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1998.
- Handbook of Vitamins, Nutritional, Biochemical and Clinical aspects. Lawrence J.Machlin, ed. Second edition, revised and expanded. Marcel Decker, N.Y. Chap. 1, p. 1-58; 1991.
- Heimo Scherz und Friedrich Senser. Food Composition and Nutrition Tables. Souci, S; Fachmann W & Kraut H, 5th ed. Medpharm & CRC Press, Stuttgart, 1994.
- Human Vitamin and Mineral Requirements Vitaminas hidrosolubles y liposolubles. Calcio, Magnesio, Ioduro, Hierro, Selenio, Zinc. Antioxidantes. WHO&FAO, Roma 2001.
- Pellegrino N, Wolfgor R, Rodríguez V y Valencia ME. Biodisponibilidad del hierro agregado como fortificante en leche y derivados. Influencia de los procesos tecnológicos y de la formulación. La Alimentación Latinoamericana, 215: 77-80; 1996.
- Rand W M. Infoods y los datos de composición de Alimentos. Archivos Latinoamericanos de Nutrición , XXXVII: 609; 1987.
- Recommended Dietary Allowances.- 10th. ed.- Food & Nutrition Board.- Sub Committee on the tenth edition of the RDAS.- National Academy Press, Washington D.C. , 1989.
- Requirements of Vitamin A, Iron, Folate And Vitamin B 12. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Series, No 23. FAO, Roma, 1988.





Perfil de la composición de la producción del maíz cultivado en la Argentina

ILSI Argentina

Como se ha mencionado a lo largo de esta publicación, la importancia del maíz como fuente de alimento humano y animal hace que el estudio de sus componentes sea de interés desde múltiples aspectos. Existen numerosos estudios que evalúan la variabilidad natural en la especie y la incidencia de diversos factores en la composición química y el valor nutricional. El fondo genético (germoplasma), las condiciones ambientales, el manejo agronómico del cultivo, y hasta la posición del grano en la mazorca pueden -y de hecho lo hacen- influir sobre estos parámetros.¹



El Comité Internacional de Biotecnología Alimentaria (IFBiC) de ILSI ha desarrollado una base de datos de composición de cultivos agroalimentarios (www.crop-composition.org) de acceso público². Esta información es de suma importancia para caracterizar y determinar los rangos de variabilidad natural para macro y micronutrientes, compuestos bioactivos y tóxicos naturales en los cultivos más importantes desde el punto de vista nutricional.

Esta base es actualizada permanentemente y es un recurso de consulta reconocido por las agencias regulatorias más importantes del mundo para su aplicación a la evaluación de inocuidad y aptitud nutricional de cultivos agroalimentarios, en particular de cultivos mejorados mediante técnicas de ingeniería genética u OGMs (organismos genéticamente modificados)³. Es por esto que se ha comenzado por la recopilación de datos de variedades e híbridos convencionales, de modo de establecer valores de base contra los cuales poder comparar más adecuadamente los nuevos cultivos que deban evaluarse.

Por último, la OECD (Organización para el Desarrollo Económico) ha publicado una serie de Documentos de Consenso⁴ sobre la biología y composición de diferentes cultivos agroalimentarios, que presenta datos de composición y sugiere un listado de componentes clave que deben ser estudiados para cada cultivo, desde el punto de vista nutricional y de la inocuidad alimentaria.

La base internacional de ILSI (versión 2.0) contiene datos de maíz correspondientes a seis años de muestreos -en diferentes localidades de América del Sur y del Norte y de la Unión Europea- y registra más de 41.000 valores individuales sobre 96 componentes analíticos. La última versión lanzada por ILSI en abril de 2006 (3.0) ya cuenta con más de 10.000 datos y continúa enfocándose en cultivos convencionales (no OGM). Estos datos resultan de gran valor para estable-

cer el rango de variabilidad natural para componentes clave desde el punto de vista nutricional.

A nivel mundial se ha comenzado con los datos de tres cultivos: soja, trigo y maíz. En ILSI Argentina esta recopilación se está llevando a cabo en soja, maíz y dos cultivos de interés nacional, como son la yerba mate y el olivo, sobre información generada a partir de ensayos de campo o de muestras comerciales de variedades cultivadas localmente.

En este trabajo se presentarán los resultados obtenidos para maíces cultivados en la Argentina, a partir de datos aportados por la industria y por el sector público. Se han incluido datos de híbridos convencionales y genéticamente modificados, reflejando la producción argentina actual⁵.

A fin de obtener datos armonizados y por lo tanto comparables, el IFBiC ha fijado ciertos criterios que debe cumplir cualquier dato que ingrese en la Base Global. Entre éstos, los criterios aceptables para el muestreo son :

1. En ensayos de campo especialmente diseñados para obtener datos composicionales:

- * Normalmente se repite el ensayo de dos a cuatro veces por variedad.
- * Parcelas de tamaño grande o pequeño.
- * Polinización de las plantas manual o abierta.
- * Muestreo: en un pool de datos representativo por parcela individual.
- * Tipos de muestras de tejidos: forraje o grano.
- * Manipulación de la muestra: fresco/secado antes del almacenado o almacenado congelado previo al análisis.

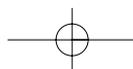
¹"Natural Variability of Metabolites in Maize Grain: Differences due to genetic Background" ver listado bibliográfico

²"Development of the ILSI Crop Composition Database", ver en listado bibliográfico.

³EFSA

⁴OECD, Consensus Documents

⁵Ver página 74: "Biotecnología y Maíz"



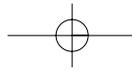


Tabla 1: Medias y rangos de % de aceite, proteína, almidón y humedad del grano
 Fuente: MAIZAR (Proyecto Calidad de Grano)
 Medias y rangos de porcentajes de aceite, proteína, almidón y humedad de grano observados en 48 híbridos comerciales argentinos en siete ambientes de la zona maicera núcleo (norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe) y sudeste de Buenos Aires. N= 310 (no se disponía de muestras de todos los híbridos en los siete ambientes)

Tipo de grano	Cantidad de híbridos	Aceite (%DW)		Proteína (%DW)		Almidón (%DW)		Humedad (%FW)	
		Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
Flint	5	5,89**	5,35 6,18	11,91**	11,13 12,37	70,35*	69,92 70,75	13,06	12,91 13,15
Semident y Dent	43	4,88**	3,88 6,01	11,55**	10,35 12,78	71,82**	71,74 73,21	13,19**	12,78 13,71
Flint Semident y Dent	48	3,88	6,48	10,35	12,78	70,03	73,24	12,78	13,71

ns, *, ** Diferencias entre híbridos dentro de cada tipo no significativas, significativas (p<0.05) y significativas (p<0.01), respectivamente.
 DW Base seca; FW Base Húmeda
 Metodología: NIR T Infracor 1241 Métodos Patrones
 Obtención de muestras: Se obtuvieron muestras de granos de 1,5 kg por híbrido a través de palmeación controlada.
 Nota: El 40% de los híbridos son transgénicos Dt. Ninguno de los híbridos colorado duros (Flint) es transgénico.
 Cosechas: 2004-2005

Tabla 2: Determinación porcentual de ácidos grasos por cromatografía gaseosa (en % sobre ácidos grasos totales)*
 Fuente: INTA Pergamino, Dr. Eyherabide y Bqos. Perchibaldí

	Político (16:0)	Estearico (18:0)	Oleico (18:1)	Linoleico (18:2)	Cont. de muestras
Promedio	10,6	1,9	31,6	52,9	121
Rango	8,3 17,8	0,8 3,3	27,9 50,4	35,9 66,1	171

Determinación porcentual de ácidos grasos por cromatografía gaseosa: se emplea el método oficial Ce 2.66 (AOCS, 1998). Método alternativo para grasas y aceites: Standard Methods for Analysis of Oils, Fats and Derivatives, International Union of Pure and Applied Chemistry, 7th edn., Blackwell Scientific Publications, 1987, IUPAC Method 2.201.
 Determinaciones realizadas en INTA Pergamino por los Dres. Borrás, Robutti y Perchibaldí.
 *Muestras de híbridos comerciales: ACA 2000, Nalera Ace99, Syngenta Pucará, Dekalb 752, Pioneer 32861 y pingalla sin identificación.
 Obtención de muestras: en cada parcela se palmearon (con polén del mismo híbrido) entre cinco y diez espigas para evitar el efecto del viento que modifica la representatividad de la muestra. Luego de la cosecha y con vez secadas las espigas en forma natural, se tomaron diez-veinte semillas de la parte central de cada espiga para obtener una muestra compuesta.
 Cosechas: 2003-2004

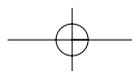
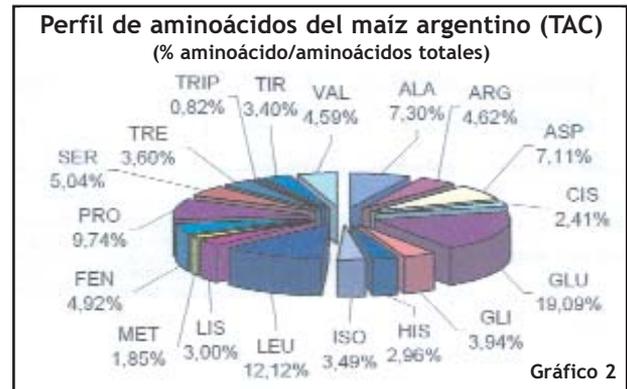
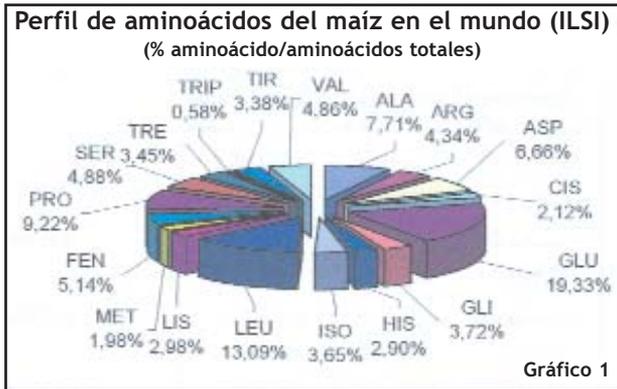
* Muestras analizadas dentro de los 12 meses de cosechadas.

2. Criterios aceptables para la obtención de resultados analíticos de calidad:

- * Análisis conducidos en laboratorios acreditados o certificados.
- * Los métodos utilizados deben estar validados ya sea por la AOAC, AOCS, AACC u otros organismos reconocidos.

* Los estándares utilizados en los métodos deben estar certificados o verificados históricamente.

- * La calibración de los equipos debe realizarse por procedimientos operativos estandarizados.
- * Todos los datos deben estar asociados con un método de referencia.
- * Se deben realizar chequeos de control de calidad de las metodologías de obtención de datos.
- * Se debe proceder a la retención y registro de datos.



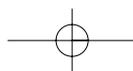


Tabla 3: Datos de TAC (Typical Argentinean Corn) - aminoácidos, calcio, fósforo, fibra cruda, humedad y cenizas

Fuente: *Renessen Argentina, Ing. F. Vartorelli*

N° 21 embarques. Cada muestra representa el cargamento de un barco con maíz argentino (TAC- Typical Argentinean Corn) exportado de cosechas Años 2001-2005

	Promedio	Rango
Ceniza (% DW*)	1,40	1,22-1,59
Humedad (% DW)	13,40	17,6-14,2
Fibra cruda (% DW)	2,45	2,13-2,82
Calcio (% DW)	0,30	0,30
Fósforo (% DW)	0,10	0,02-0,20
Acido aspártico (mg/g DW)	6,370	5,520-7,270
Acido glutámico (mg/g DW)	17,111	14,990-20,110
Alanina (mg/g DW)	6,546	5,860-7,720
Arginina (mg/g DW)	4,142	3,510-5,390
Cisteina (mg/g DW) (*1)	2,163	1,760-2,780
Fenilalanina (mg/g DW)	4,410	3,870-5,240
Glicina (mg/g DW)	3,534	2,680-4,200
Hidroxiprolina (mg/g DW)	0,225	0,110-0,410
Histidina (mg/g DW)	2,650	2,310-3,280
Isoleucina (mg/g DW)	3,126	2,760-3,550
Leucina (mg/g DW)	10,859	9,580-12,760
Lisina (mg/g DW)	2,681	1,890-3,120
Metionina (mg/g DW) (**2)	1,660	1,420-2,020
Prolina (mg/g DW)	8,725	7,160-12,60
Serina (mg/g DW)	4,516	3,980-5,490
Taurina (mg/g DW)	0,046	0,020-0,060
Tirosina (mg/g DW)	3,016	2,510-3,810
Tronina (mg/g DW)	3,228	2,880-3,740
Triptofano (mg/g DW)	0,732	0,540-0,940
Valina (mg/g DW)	4,112	3,620-4,625

Metodología (Cámara Arbitral de Cereales de Rosario):
 Cenizas Totales: IRAM 15851 - Fibra cruda: REF GAFTA 10:0 - Humedad: GAFTA METHOD 2:1
 Calcio: AACCC40-26 - Fósforo: REF AOAC 965.17 - Aminoácidos: AACCC07-01 Adaptado
 * DW - Base seca
 *1 Cisteina = determinado como Acido Cisteico
 **2 Metionina = determinada como Metionina Sulfona

Tabla 4: Porcentajes de almidón y amilosa en grano de maíz argentino

Fuente: *INTA Pergamino*

Medias y rangos de amilosa y almidón entre híbridos a través de ambientes

	AMILOSA aparente %	ALMIDON %	AM/AL %
Promedio	18.3	70.65	26
Rango	17.14 19.63	67.8 73.39	24.97 26.89

Metodología: Técnica rápida de Knudsen con modificación en la etapa de solubilización de almidón con dimetilsulfóxido de 16 a 48 hs.
 Muestra: Se evaluaron 17 híbridos a través de 3 ambientes. Cada muestra se obtuvo por polinización manual con el propio genotipo.
 Referencias: Informe Técnico 320, INTA Pergamino: "Características de Interés Industrial en Híbridos simples de Maíz", Huanquesas, M.J., Eyherabide, G.H., Botatti, J.J., Peribaldí, N.M., Borrás, F.S. 1999.

Los datos obtenidos en esta recopilación cumplen en parte con estos requisitos. Se han incluido híbridos que se cultivan a escala comercial que representan los diferentes tipos de maíces producidos en nuestro país (Flint, maíz típico argentino, dulce, etc.)⁶ y cuya fuente se indica en las tablas y gráficos correspondientes.

Uno de los requisitos de la base de datos de ILSI es que la información sea trazable, es decir, que

sea posible volver a la fuente que generó esos datos. De este modo, hemos entrado en contacto con cada uno de los responsables de estos trabajos. En INTA -Estación Experimental Pergamino- con el Dr. Eyherabide y el Dr. Borrás; en Maizar y Renessen, con los Ing. Martín Fraguío y Federico Vartorelli, respectivamente. A todos ellos agradecemos especialmente su colaboración.

Metodologías empleadas y resultados

Los datos recopilados de la base internacional de ILSI y seleccionados corresponden a muestras argentinas, tomadas entre los años 1999 - 2001 y a grano (no incluyen datos de forraje). Dentro de los componentes estudiados en los trabajos recopilados, las categorías analíticas que encontramos son:

- Análisis porcentual o centesimal: incluye los porcentajes de humedad, aceite, fibra, almidón y proteínas, sobre base seca (%DM).
- Perfiles de ácidos grasos
- Perfiles de aminoácidos
- Amilosa y almidón

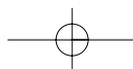
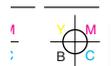
Estos datos se muestran en las Tablas 1, 2, 3 y 4. Los datos de la Tabla 1 se obtuvieron mediante la metodología de Infrarrojo Cercano empleando un equipo NIR/NIT en lugar de la metodología de química húmeda tradicionalmente utilizada⁷. Si bien los resultados de porcentajes de aceite, almidón y humedad resultan comparables con los obtenidos mediante otros métodos, en el caso de proteínas los valores medio y máximo encontrados en este estudio resultan relativamente elevados. Puede haber contribuido a ello la característica de los ambientes en los que se cultivaron los híbridos (viveros de cría) y el efecto de calibración del equipo NIR aplicado a cultivos de diferente color y textura de grano. En esta tabla se muestran datos según calidades de maíz. El tipo Flint tiene características que lo hacen de valor añadido para los mercados, ya que se

aplica fundamentalmente a la producción de cereales de desayuno y barras⁸.

⁶ver página 4: "El cultivo del Maíz en la Argentina"

⁷ "Predicting the chemical composition of intact kernels in maize hybrids by near infrared reflectance spectroscopy", Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi, J., 2001, Journal of Agricultural Food Chemistry, 49(1):57-66.

⁸Ver en esta sección, "Aporte nutricional de las principales formas de consumo de maíz en la alimentación humana"





En la Tabla 3 se presenta información surgida del muestreo de embarques de exportación y refleja la cosecha argentina de granos de "Maíz Típico Argentino", un "commodity" que se exporta para todo tipo de aplicaciones, pero fundamentalmente para alimentación animal.

Por último, la Tabla 4 muestra el promedio general y los rangos para contenido de almidón y amilosa de híbridos simples de maíz cultivados en ensayos de campo, realizados para determinar el efecto de la fecha de siembra y el ambiente. Estos estudios no detectaron interacción significativa entre híbridos y ambiente para estos componentes en particular.

Finalmente, en los Gráficos 1 y 2 y las Tablas 5 a 7, se ponen estos datos en contexto, comparando los rangos observados en muestras argentinas para ácidos grasos, aminoácidos y composición centesimal, con los publicados en la base de datos de ILSI.

Tabla 5: Rangos observados para aminoácidos en maíz en Argentina y en el mundo (mg/g Base seca)

	Rango WORLD ILSI	Rango ARG ILSI	Rango ARG TAC
Alanina	4,39-12,03	5,83-10,88	5,86-7,72
Arginina	2,58-6,23	3,11-5,69	3,51-5,39
Acido Aspártico	4,17-9,50	5,28-8,58	5,52-7,27
Cisteína	1,48-3,16	1,67-3,09	1,76-2,78
Acido Glutámico	10,41-30,35	14,72-27,75	14,99-20,11
Glicina	2,80-4,98	3,06-4,58	2,68-4,2
Histidina	1,97-4,18	2,41-4,18	2,31-3,28
Isoleucina	2,04-5,96	2,89-5,17	2,76-3,55
Leucina	6,42-21,74	9,59-19,53	9,58-17,76
Lisina	2,36-5,57	2,38-5,57	1,89-3,12
Metionina	1,3-3,44	1,3-3,44	1,42-2,02
Fenilalanina	2,63-8,30	3,87-7,43	3,87-5,21
Prolina	5,76-14,57	6,78-13,29	7,16-12,6
Serina	2,35-7,66	3,65-7,35	3,98-5,49
Treonina	2,24-6,50	2,73-4,58	2,88-3,74
Triptofano	0,355-0,900	0,355-0,881	0,54-0,94
Tirosina	1,10-5,95	1,89-5,07	2,51-3,81
Valina	3,16-7,23	4,11-6,59	3,62-4,625

Nota: Rango World ILSI: ILSI Crop Composition Database Versión 2.0, <http://www.cropcomposition.org>. Search criteria : corn grain, all locations, all years, amino acids. N-72b. Accessed Dec 26, 2005.
Rango ARG ILSI: ILSI Crop Composition Database Versión 2.0, <http://www.cropcomposition.org>. Search criteria : corn grain, Argentina, all years, amino acids. N 109. Accessed Dec 12, 2005.
Rango ARG TAC: Corresponde a los datos de la Tabla 3.

Conclusión

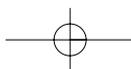
ILSI Argentina ha llevado adelante este proyecto con el objeto de aportar datos sobre las materias primas de un gran número de alimentos, es decir los "commodities", como en este caso el grano de maíz. ILSI Argentina ha reunido información local, gracias a la colaboración de instituciones públicas y privadas que nos han proporcionado generosamente los resultados de sus estudios.

Los datos recopilados en este trabajo se encuentran, en general, dentro de los rangos descritos en la base internacional de ILSI (Tablas 5-7). Si bien los datos recopilados aquí derivan de una menor diversidad de fuentes, germoplasmas y ambientes, por lo que no son estrictamente comparables, es informativo observar dónde se encuadran los híbridos cultivados localmente, en cuanto a componentes nutricionalmente relevantes.

Al cabo de este trabajo de recopilación, surge claramente la necesidad de generar una mayor cantidad de datos locales y de

La Tabla 2 resume datos de contenido de ácidos grasos de seis híbridos comerciales muestreados de ensayos a campo realizados en INTA Pergamino.

ampliar este tipo de determinaciones a otros componentes, como vitaminas, antinutrientes, minerales, etc.



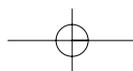


Tabla 6: Rangos observados para ácidos grasos en maíz en Argentina y en el mundo (% del total de ácidos grasos)

	Rango WORLD ILSI	Rango ARG ILSI	Rango ARG INTA
16:0 Palmítico	8,51-17,46	10,41-14,05	8,3-12,8
16:1 Palmitoleico	0,101-0,325	0,110-0,223	---
17:0 Heptadecanoico	0,078-0,111	0,105-0,111	---
18:0 Estearico	1,02-2,76	1,46-2,66	0,8-3,3
18:1 Oleico	18,6-40,1	21,1-40,1	22,9-50,1
18:2 Linoleico	43,1-65,6	43,1-62,9	35,9-66,1
18:3 Linolénico	0,70-1,92	0,78-1,40	---
20:0 Araquídico	0,279-0,720	0,311-0,682	---
20:1 Eicosenoico	0,170-1,917	0,222-0,350	---
22:0 Behénico	0,110-0,349	0,115-0,291	---

Nota:
Rango World ILSI: ILSI Crop Composition Database Versión 2.0, <http://www.cropcomposition.org>.
Search criteria : corn grain, all locations, all years, fatty acids. Accessed Dec 26, 2005.
Rango ARG ILSI: ILSI Crop Composition Database Versión 2.0, <http://www.cropcomposition.org>.
Search criteria : corn grain, Argentina, all years, fatty acids. Accessed Dec 12, 2005.
Rango ARG INTA: Corresponde a los datos de la Tabla 2 .

Tabla 7: Rangos observados para composición centesimal de maíz en Argentina y en el mundo

	Rango WORLD ILSI	Rango ARG ILSI	Rango ARG MAIZAR
Cenizas (%DW)	0,616-6,282	0,973-1,879	---
Almidón (%DW)	67,8-73,8	---	70,03-73,24
Proteína Cruda (%DW)	6,15-15,01	7,85-13,61	10,35-12,78
Grasa Total (%DW)	1,742-5,564	2,677-5,564	3,88-6,48
Humedad (%FW)	6,1-26,2	10,7-16,2	12,78-13,71

DW= Base seca; FW= Base húmeda
Nota: Rango World ILSI: ILSI Crop Composition Database Versión 2.0, <http://www.cropcomposition.org>.
Search criteria : corn grain, all locations, all years, Proximates & Carbohydrates. Accessed Dec 26, 2005.
Rango ARG ILSI: ILSI Crop Composition Database Versión 2.0, <http://www.cropcomposition.org>.
Search criteria : corn grain, Argentina, all years, Proximates & Carbohydrates. N=109. Accessed Dec 12, 2005.
Rango ARG MAIZAR: Corresponde a los datos de la Tabla 1 .

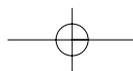
Lecturas recomendadas

"Natural variability of metabolites in maize grain: differences due to genetic background". Reynolds et al, Journal of Agricultural and Food Chemistry, Publicado en Internet, Septiembre, 2005.

"Development of the International Sciences Institute Crop Composition Database". W. Ridley, R. Shillito, I. Coats, H. Steiner, M. Shawgo, A. Phillips, P. Dussold, L. Kurtyka. Journal of Food Composition and Analysis 17 (2004) 423-438

"Series on the Safety of Novel Foods and Feeds, No 6". consensus document on compositional considerations for new varieties of maize (Zea mays): key food and feed nutrients, anti-nutrients and secondary plant metabolites. For the complete text, consult the OECD's web site (<http://www.oecd.org/ehs/>)

"Predicting the chemical composition of intact kernels in maize hybrids by near infrared reflectance spectroscopy", Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi , J. , 2001, Journal of Agricultural Food Chemistry , 49(1):57-66





Aporte nutricional de las principales formas de consumo del maíz en la alimentación humana

Margarita Olivera Carrión



Perspectivas en el consumo de cereales

En el estudio del aporte nutricional del maíz en la alimentación humana, debe considerarse si en la elaboración de los alimentos se utiliza el grano entero o los distintos subproductos que se obtienen de su industrialización. Las recomendaciones actuales con respecto al consumo de cereales establecen la conveniencia del aumento de la ingesta de "granos enteros" a expensas de productos refinados, siendo importante señalar que el concepto de grano entero no es equivalente al de harinas refinadas con agregados de fibras aisladas, sino que implica el grano en su totalidad o parcialmente triturado.

Este enfoque se relaciona con la preocupación por el gran aumento en los últimos años del sobrepeso y la obesidad como primer paso al síndrome metabólico y a enfermedades no transmisibles y crónico-degenerativas como la diabetes tipo II y las enfermedades coronarias. Se considera que la causa de esta epidemia mundial es en parte debida al gran consumo de alimentos con elevado Índice Glucémico (IG), sobre todo azúcares de fácil absorción y harinas refinadas que con cada ingesta provocan la estimulación brusca e intermitente de la insulina, con consecuencias deletéreas a largo plazo.

Varios son los factores que influyen en el IG de los alimentos, ya que si bien los azúcares (mono y disacáridos como glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa, etc) presentan todos alto IG por no requerir hidrólisis para su absorción, en el almidón (el polisacárido proveedor de energía por excelencia y de mayor dis-

tribución) influye la relación amilosa/amilopeptina, la presencia de fibra y grasa, así como la estructura del gránulo de almidón y de la matriz alimentaria y el proceso de elaboración del alimento. Se considera que en líneas generales, el consumo de carbohidratos complejos permite un mejor manejo del peso corporal por la liberación paulatina de la glucosa, sobre todo en alimentos ricos en fibra y con ciertas características de la estructura de la matriz alimentaria.

En general se acepta que un alimento está formulado en base a granos enteros si los contiene en porcentajes superiores al 50% y que cierta cantidad de cereales refinados es aconsejable para mantener las características organolépticas agradables. Por otro lado, la incorporación parcial de harinas refinadas fortificadas es conveniente, dado la dificultad de fortificar granos enteros y la deficiencia que los cereales presentan en algunos nutrientes esenciales como ácido fólico, algunas vitaminas del grupo B y hierro.

En las Guías Alimentarias actualizadas en enero del 2005, el Departamento de Salud Humana (HHS) y el Departamento de Agricultura (USDA) de Estados Unidos, recomiendan para su población el consumo de tres porciones de granos enteros diarios, basándose dichas recomendaciones en fundamentos científicos reconocidos. Por otro lado, la Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA) responsable de la reglamentación de las declaraciones de salud en los rótulos de los alimentos (health claims), permite que los productos con un mínimo de 51% de granos enteros presenten declaraciones del tipo: "*dietas ricas en alimentos a base de granos enteros y vegetales y bajos en grasa total, grasa saturada y colesterol, pueden reducir el riesgo de enfermedades coronarias y ciertos tipos de cánceres*", siempre que dichos alimentos no superen máximos establecidos de grasas, colesterol y sodio.

Por otro lado, en la última década se produjeron grandes avances en el conocimiento del contenido de los componentes bioactivos de los alimentos, como resultado en parte del desarrollo de nuevos métodos analíticos y niveles de detección. También se conoce con mayor profundidad la acción y relación de estos componentes con efectos beneficiosos para la salud, además de nuevos efectos de los nutrientes propios de los cereales. La incidencia de su ingesta en la salud humana es un área compleja donde es necesario considerar todas las posibles acciones fisiológicas favorables o no, en función de la interrelación con



otros nutrientes, de la ingesta mínima requerida para ejercer el efecto deseado y de la concentración en el alimento, de la matriz alimentaria y del grupo etéreo al cual va dirigido el mismo.

En el caso del maíz, los componentes bioactivos presentes son diversos: a) carotenoides como luteína y criptoxantina, que no presentan actividad de provitamina A pero sí acción antioxidante; b) fitoesteroles con efectos hipocolesterolemiantes, fundamentalmente β -sitosterol; c) componentes con efectos fisiológicos o nutricionales contrapuestos, como el ácido fítico, componente de la fibra insoluble de reconocida acción secuestrante de minerales esenciales y disminución de su biodisponibilidad (Ver en esta sección: "Componentes Nutricionales del grano de Maíz"), al que actualmente se le atribuyen propiedades antioxidantes. Tampoco se consideraba recomendable la ingesta de rafinosa por ser un trisacárido no hidrolizable por las enzimas del tubo gastrointestinal causante de trastornos digestivos, sin embargo actualmente es aceptada su actividad prebiótica como oligosacárido componente de la fibra soluble.

Composición de alimentos a base de maíz

La información disponible sobre datos nutricionales de los alimentos a base de maíz en el país es escasa, tanto en macronutrientes como en vitaminas, minerales y en la caracterización de los componentes de la fibra.

Este panorama se modificará, aunque en forma parcial, debido a la implementación de la rotulación nutricional obligatoria de todos los alimentos envasados a nivel regional en el MERCOSUR a partir del 1º agosto del 2006 (RGMC 44/03, 46/03 y 47/03). Los atributos obligatorios son el Valor Energético y los principales macronutrientes: proteínas, carbohidratos, grasas totales y fibra dietaria, pero también se

Tabla 1 - Tocoferoles y Esteroles de aceites refinados

Los valores están expresados en ppm y pueden variar dependiendo del procesamiento
1ª Jornada Lípidos y Nutrición, noviembre 2003 - Asociación Argentina de Grasas y Aceites (ASAGA)

	Soja	Girasol	Arroz	Maíz	Trigo germen	Oliva virgen	Palma
α - tocof	70	637	580	90	1340	120	300
β - tocof	20	14		30	700	13	
γ - tocof	500	42	330	810	420	10	300
δ - tocof	200	7		-	120		70
Tocotrienoles	-	8	780	-	350	8	140
Σ - tocof	790	700	910	930	2580	140	670
Σ esteroles (50 - 80% beta sitosterol)	2300	2300	7500	8000	5500	1900 en el orujo >2500	300

Tabla 2 - Composición centesimal del choclo

100 g parte comestible	1	2	3	4	5
Energía Kcal	87	122	88	108	60 - 87
Agua	74.7	72.3	74.92	73.9	72.9 - 82
Proteína	3.28	2.9	3.02	3.7	1.6 - 4.3
Grasa	1.23	1.2	0.77	1.2	0.3 - 1.4
Hidratos de Carbono	15.72	26.6	20.81	20.5	13.1 - 21.4
- Almidón	12.30	16.6			
- Azúcares	3.40	9.6			
Fibra dietaria	-	1.4	2.4	-	2.70
Cenizas	0.80	-	0.48	0.70	-
Na mg	300	270	3	40	4 - 272
K mg	290	220	210	113	166 - 181
Total Carotenoides ug	51	110			
Total Tocoferoles ug	620	460			
Vit E actividad ug	95	400			
Vit. B1 ug	150	40	83	134	20 - 40
Vit. B2 ug	120	60	70	81	50 - 60
Niacina mg	1.70	1.5	1.76	2.0	0.08 - 1.0
Vit C mg	12	14		8.2	4.9 - 6

1 Tablas Alemanas: Souci.Fachmann.Kraut. Food Composition and Nutrition Tables. 5th ed. Medpharm, Scientific Publishers, Stuttgart, 1994. Los hidratos de carbono son estimados por diferencia de 100 - (agua + proteínas + grasa + minerales + fibra dietaria total)

2 Tablas Inglesas: McCance and Widdowson's. The Composition of Foods, Fifth Edition. Royal Society of Chemistry, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 1993. Los valores de los hidratos de carbono digeribles son analizados directamente en las muestras

3 USDA Agricultural Research Service. Nutrient Data Laboratory. Nutrient Database.

<http://nal.usda.gov/fnic/etext/000020.html#xtacid2381816>. Los valores de Hidratos de Carbono incluyen a la Fibra dietaria

4 Argenfoods, Universidad Nacional de Luján, 2002

5 Tabla de Composición Química de Alimentos, 2ª Edición, Centro de Endocrinología Experimental y Aplicada (CENEXA), UNLP-CONICET, 1995. Rangos de valores de 6 muestras de choclo entero en grano congelado o enfriado

¹ILSI Crop Composition Database. Datos de maíz entero www.cropcomposition.org

²Argenfoods, Universidad Nacional de Luján, 2002. Base de datos confeccionada en el marco del proyecto INFOODS (International Network of Food Data System, Universidad de Naciones Unidas y FAO)

³Tabla de Composición Química de Alimentos, 2ª Edición, Centro de Endocrinología Experimental y Aplicada (Cenexa), UNLP-CONICET, 1995

⁴Souci.Fachmann.Kraut. Food Composition and Nutrition Tables. 5th ed. Medpharm, Scientific Publishers, Stuttgart, 1994

⁵McCance and Widdowson's. The Composition of Foods, Fifth Edition. Royal Society of Chemistry, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 1993



deberá informar grasas saturadas, grasas trans y sodio, estos últimos en función de su incidencia deletérea en la salud humana. El desdoblamiento de la fibra dietaria en sus componentes solubles e insolubles no es obligatorio, pero existe una tendencia a incorporar esta información en los rótulos de aquellos alimentos donde sus contenidos justifican declaraciones de contenido de nutrientes (fuente/alto contenido de fibra) o de propiedades de salud, como parte del marketing nutricional de las empresas.

En la actualidad a nivel nacional se dispone de la Base de datos de ILSI¹, cuyos valores son de maíz entero y provienen de cultivos argentinos de las Provincias de Buenos Aires y de Córdoba en el período 1999 - 2001. Para alimentos elaborados se dispone sólo de algunos pocos datos que figuran en las tablas de Argenfoods² y en las Tablas Cenexa³, cuyos valores provienen de datos analíticos en el primer caso y fueron recopilados en base a la información brindada por las empresas elaboradoras en el segundo.

A nivel internacional, si bien la información es muy completa tanto en las Tablas de Composición de Alimentos alemanas⁴, en las inglesas⁵ y en la base de datos USDA⁶, los valores no son siempre comparables. Así por ejemplo, el cálculo del porcentaje de los hidratos de carbono se realiza por diferencia de 100 menos la suma del resto de los macronutrientes (agua + proteínas + grasa + minerales + fibra dietaria), sin embargo, en los datos del USDA y del ILSI los hidratos de carbono incluyen el valor de la fibra dietaria, y en las Tablas Inglesas los valores de hidratos de carbono son analizados directamente.

Con respecto a los contenidos de los componentes bioactivos, la información más completa también se encuentra en las Tablas de Composición de Alimentos Alemanas, en las Tablas Inglesas y en la base de datos del USDA. A nivel nacional se dispone de valores de ácido fólico y rafinosa para maíz entero en la base de datos ILSI, y de contenido de fitoesteroides totales en aceites, siendo estos últimos datos recopilados por la Asociación Argentina de Grasas y Aceites (ASAGA)⁷ (Tabla 1).

Formas de consumo del maíz

Las formas más frecuentes de consumo del maíz pueden agruparse de la siguiente manera:

1) *Grano entero*: puede consumirse como hortaliza o como cereal. En el primer caso, se comercializa el producto previo a la maduración completa, ya sea fresco o luego de ser sometido a procesos de conservación como congelación o esterilización. Como cereal entero, se consume la golosina dulce o salada de los granos maduros de la variedad pisingallo.

2) *Subproductos de la industrialización*: representan proporcionalmente las formas de consumo de mayor difusión debido a la variedad y versatilidad de los subproductos obtenidos. Las distintas fracciones del grano separadas durante la molienda seca o húmeda y luego de ser sometidas a diferentes procesos tecnológicos, pueden ser consumidas como

tales o utilizadas como ingredientes de una gran variedad de alimentos formulados: sémolas, almidón, aceites, jarabes de maíz, caramelos líquidos, almidones modificados, etc.

1) Grano de maíz entero

Hortaliza. El choclo es el maíz con grado insuficiente de maduración, presentando un porcentaje de agua en el rango 72-75 % (Tabla 2), siendo su composición centesimal más similar a las hortalizas frescas que a los cereales. El tipo de maíz que se cultiva para estos fines es el maíz dulce, que posee mejores características de textura y dulzor que las variedades de mayor producción como el dentado y duro.

En la Tabla 2 se comparan los porcentajes de los distintos nutrientes informados en las diferentes fuentes de composición de alimentos extranjeras (Tablas Alemanas, Tablas Inglesas y base de datos USDA) y los datos disponibles a nivel nacional en Argenfoods y en las tablas Cenexa.

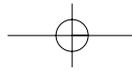
Se observa que de los macrocomponentes -las proteínas, las grasas y el agua- se encuentran en los mismos niveles, pero existe gran variación para los hidratos de carbono totales y también para el almidón y los azúcares cuando son informados. Esto se debe a que la concentración de carbohidratos es muy variable con el grado de maduración, dado que la glucosa vía sacarosa se polimeriza a almidón, produciendo el aumento de la materia seca del grano y disminuyendo simultáneamente el contenido de agua. Estos cambios provocan la mayor dureza del grano y la disminución del poder edulcorante, con intensas modificaciones de sus características organolépticas.

Dentro de los minerales, el contenido de sodio informado es muy variable. En el producto fresco o sin agregado de sal durante la congelación o esterilización, el sodio se encuentra en muy bajas concentraciones y el contenido de potasio es elevado. Esta relación lamentablemente se modifica con el agregado de sal o aditivos durante el procesado o directamente en la etapa final de preparación doméstica de los alimentos. Es de destacar que el grano de maíz maduro no contiene vitamina C, mientras que el choclo fresco contiene una cantidad del orden de 12 mg /100 g, que disminuye en los productos esterilizados.

El consumo de choclo como hortaliza puede considerarse desde el punto de vista nutricional como un alimento de una dieta saludable en general, ya que si bien su principal aporte es energético, éste es bajo y las calorías están dadas casi exclusivamente por carbohidratos complejos. Es un alimento con Índice Glucémico medio de 60, debido a la presencia de cierta cantidad de fibra y a la estructura del grano. El aporte lipídico es bajo pero conserva todos los componentes del insaponificable: vitaminas liposolubles E y K; provitaminas A; carotenoides sin actividad vitamínica, y también fitoesteroides.

⁶USDA Agricultural Research Service. Nutrient Data Laboratory, Nutrient Database.
<http://nal.usda.gov/fnic/etext/000020.html#xtocid2381816>
⁷ASAGA: Asociación Argentina de Grasas y Aceites.





Desde el punto de vista de la calidad de sus proteínas, el consumo junto a otros ingredientes como huevos y/o queso en tartas, carnes en guisos, etc, puede complementar la deficiencia de lisina y triptofano, aumentando el valor nutricional, como se analizó previamente en el artículo "Componentes nutricionales del grano de maíz", en esta sección.

Una de las formas habituales de consumo del producto fresco es en la mazorca, luego de una breve cocción a nivel doméstico. En algunos países también es consumido "al paso" en calles y playas, pudiendo ser considerado como un alimento regional de consumo rápido saludable (equivalente a un "snack") que, a diferencia de los productos de copetín habituales, no contiene alto valor energético ni alto contenido de grasas por no ser sometido a procesos de fritura. El agregado de sal debe ser tenido en cuenta, y en algunos países el agregado de manteca, si bien no es una práctica general.

El maíz entero fresco desgranado puede conservarse por congelación o esterilización, manteniéndose en el primer método prácticamente intactos todos sus aportes vitamínicos, mientras que en el segundo disminuye el contenido de vitaminas termolábiles, como la vitamina C, debido al proceso de calentamiento. El producto desgranado debe ser sometido a un escaldado rápido para inactivar las enzimas previo a cualquier de los procesos de conservación, ya que de continuar la síntesis del almidón a expensas de la sacarosa causaría mayor dureza del grano y disminución del poder edulcorante (al igual que en la maduración en la planta), afectando las propiedades organolépticas.

El choclo en grano se consume principalmente en ensaladas, tartas y empanadas, estas últimas de gran difusión como comidas rápidas típicas, siendo considerados los "fast food" regionales. Otras formas culinarias forman parte de platos regionales más localistas como loco, humita, tamales, etc

Cereal. Puede consumirse como golosina dulce o salada cuyas denominaciones comunes son pochoclo, pororó, palomitas o pop corn. Para su elaboración se utiliza el grano maduro del maíz Pisingallo. La característica de "explosión" al ser sometido al calor y alcanzar determinada temperatura se produce cuando la pequeña cantidad de agua interna del grano (14 %) se vaporiza bruscamente y el gránulo de almidón de esta variedad, altamente cristalino y compacto, se expande en forma brusca dando el aspecto espumoso blanco característico.

Para el aporte nutricional hay que considerar que, si bien se parte del grano con la composición general de los cereales (14% humedad, 64% de carbohidratos, 9% proteínas, 4% de lípidos y 9% de fibra), en la elaboración se agregan en general cantidades apreciables de azúcares o jarabes, sal y aceites.

La composición de ácidos grasos de los lípidos de maíz pisingallo, muestra un porcentaje inferior de ácido oleico y superior de ácido linoleico respecto del aceite de maíz comercializado, pero proporcionalmente son los aceites agregados durante la elabora-



ción los que predominan en el producto final. El aceite agregado actúa como medio adecuado para la transmisión del calor hasta alcanzar la temperatura requerida, denominándose este proceso como "fritura" y las pochocleras, "freidoras".

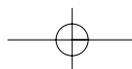
En el país se comercializa el producto recién elaborado para consumo inmediato principalmente en los megacentros de entretenimientos, por lo que su consumo es muy variable según zonas del país y estrato social, si bien las estadísticas arrojan un elevado aumento del consumo en los últimos años, según datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPYA). Según esta fuente, se estima que el grano original representa el 65% del producto terminado, siendo el resto azúcar y aceite.

También se comercializa a nivel local aunque en baja proporción el producto ya elaborado, así como el grano envasado en pequeñas bolsas para ser preparado en microondas a nivel hogareño. En estos productos el agregado de grasas hidrogenadas es considerable para aumentar la estabilidad a la oxidación del producto durante su comercialización a temperatura ambiente. Los porcentajes declarados en el rótulo en productos importados comercializados en el país están en el orden del 25% y en las tablas Cenexa figura un solo producto con 26% de grasa. En las tablas de USDA se encuentran muchas variedades de popcorn, existiendo productos para microondas con 75% de azúcares, otros sin grasas y otros con 28% de lípidos. Tampoco se puede considerar un valor promedio general de IG debido a la gran variabilidad en la composición.

Actualmente existe preocupación en algunos países por el elevado aporte energético de estos productos y su elevado consumo, sobre todo por la población infantil.

2) Subproductos del maíz

Los subproductos de consumo humano derivados de la industrialización del maíz se producen por dos procesos tecnológicos, la molienda seca y la molienda húmeda, siendo esta última la más importante en volumen de granos procesados. Los subproductos obtenidos por ambas vías son numerosos, siendo ampliamente utilizados tanto como ingredientes principales o como aditivos con amplio espectro de usos tecnológicos en la elaboración de alimentos formulados. (Ver "Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias")





Los subproductos obtenidos a partir del endospermo por molienda seca son utilizados para la preparación de platos como polenta, que si bien es de gran difusión, tiene un consumo relativo bajo. En su mayor parte son empleados como materia prima para la elaboración de cereales de desayuno, barras de cereales, productos de copetín, etc.

Los subproductos obtenidos a partir de la molienda húmeda son principalmente almidón, dextrinas y los jarabes de maíz, de glucosa, de fructosa y en menor proporción dextrosa anhidra, almidones modificados y caramelos líquidos. Para analizar el aporte nutricional de los distintos subproductos se deben considerar los demás ingredientes de cada alimento y también las porciones habituales de consumo. En líneas generales se puede establecer que:

- En las sémolas y harinas, el aporte nutricional es fundamentalmente energético. Por utilizarse el grano degerminado y sin tegumentos externos, pierde la mayor parte de los lípidos y vitaminas liposolubles y parte considerable de las hidrosolubles. El aporte energético proviene del almidón y el IG es elevado.

- El almidón, las dextrinas y los jarabes de maíz están compuestos únicamente por hidratos de carbono. La respuesta del IG es muy elevada para todos y especialmente para los jarabes, ya que en el proceso de obtención por hidrólisis ácida o enzimática se degrada el almidón hasta azúcares (glucosa o fructosa, maltosa o sus mezclas).

- La harina de maíz sola no es panificable porque sus proteínas son muy diferentes a las del trigo en el comportamiento reológico y no pueden formar el "gluten", coloide viscoelástico característico de las proteínas del trigo. El término gluten genera confusión, ya que en el proceso de molienda húmeda se obtienen dos fracciones con alto porcentaje de proteínas, llamadas "gluten feed" (rica en fibra y con 21% de proteínas) y "gluten meal" (con 60% de proteínas) siendo ambas utilizadas para alimentos balanceados. Reciben este nombre por constituir fracciones con alto porcentaje de proteínas, pero son muy diferentes al gluten del trigo en su estructura en aminoácidos y en consecuencia, en el comportamiento reológico. El gluten del trigo está formado por proteínas insolubles en agua (prolaminas y glutelinas) ricas en cisteína y cistina capaces de formar enlaces disulfuros intra e intercatenarios, responsables de las características viscoelásticas. Las proteínas del maíz carecen de esta composición aminoacídica particular, no siendo panificables, por lo que en los denominados "panes de maíz" se emplean mezclas con harina de trigo para obtener masas que puedan levar.

- La harina de maíz y todos sus subproductos, sémola, etc, son aptos para celíacos. Genera cierta confusión la denominación de gluten para algunos de los subproductos de la industrialización por vía húmeda, pero las proteínas del maíz no contienen en su estructura las secuencias de aminoácidos que originan

la enfermedad y el maíz no forma parte de los cereales TACC (trigo, avena, cebada, centeno). Al no tratarse de una harina panificable, cuando se la utiliza en productos para celíacos se mezclan con otros ingredientes, fundamentalmente harina de mandioca y arroz.

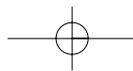
- En los productos de copetín elaborados a partir de harina de maíz, es necesario considerar su alto valor calórico y la presencia de ácidos grasos trans (palitos de maíz, tortillas, nachos). La energía es proporcionada principalmente por la grasa, cuyo porcentaje puede variar en el rango de 16 a 40% según sean productos horneados o expandidos fritos, en este caso debido a la gran absorción de aceite durante el proceso de fritura industrial por la gran superficie que presentan. La presencia de ácidos grasos trans se debe al uso de aceites parcialmente hidrogenados para aumentar la estabilidad a la oxidación, por tratarse de productos mantenidos a temperatura ambiente durante su comercialización. El contenido de trans informado en palitos de maíz es de 3,84% del producto elaborado¹, si bien existen pocos datos por ahora en tablas y estarán disponibles para todos los productos en breve en la rotulación nutricional obligatoria en el envase.

- Entre los cereales de desayuno, los copos de maíz, hojuelas o corn flakes ocupan un lugar predominante, azucarados o no, solos o en mezclas con otros cereales y frutas (granola, muesli). Se elaboran a partir de sémolas o harinas de la variedad Flint, sometidas a un proceso de humectación, cocción con vapor y posterior laminación mediante rodillos y secado. En los productos azucarados, los mono y disacáridos pueden constituir hasta el 50% de los carbohidratos totales. En general, la referencia a los copos de maíz sin aclaración corresponde al producto azucarado, pero sería conveniente la diferenciación tanto en la denominación del producto como en los valores de algunos parámetros que figuran en bibliografía. Así por ejemplo, para el IG figuran valores en un rango de 92-119 según las fuentes, lo cual hace suponer que se trata de distintos productos.

- En las barras de cereales el contenido de copos de maíz crocantes es frecuente y en altas proporciones. Estos productos relativamente nuevos y de gran difusión actual surgieron como golosinas o "snack" saludables por el alto porcentaje de cereales, granos enteros o parcialmente triturados, frutas, etc. y por tener buena aceptación en toda la población, incluyendo la infantil. Sin embargo, en la actualidad son cuestionados por el contenido de ácidos grasos trans provenientes de los aceites parcialmente hidrogenados que se incorporan como ingredientes y por su alto valor energético en general. En la nueva rotulación nutricional obligatoria MERCOSUR la información deberá ser brindada por porción; en el caso de las barras de cereales se establece distinto tamaño de porción según el contenido de la grasa sea superior o no al

¹ Argenfoods, Universidad Nacional de Luján, 2002.





10%. Por otro lado, como se dijo anteriormente, el contenido de grasas trans deberá ser informado en todos los alimentos.

- Los almidones pregelatinizados son sometidos únicamente a procesos físicos de humectación, seguido de calentamiento y posterior secado, siendo declarados simplemente como almidones en la lista de ingredientes en el rótulo de los alimentos. Son fácilmente asimilables, con alto IG y proveen 4 kcal/g. Estos almidones al igual que los nativos, pueden ser utilizados en todo tipo de alimentos, incluso en la alimentación de inicio y adecuación para niños.

- Los almidones modificados se obtienen por distintos procesos químicos, creando uniones intercatenarias que permiten cambiar el comportamiento reológico o de textura del almidón. Su absorción es variable, dependiendo del tipo de almidón, y pueden formar parte de la fibra soluble. Si bien la concentración utilizada para cumplir la función tecnológica específica es baja, en los últimos años han adquirido cierta relevancia por utilizarse en la sustitución parcial de almidones asimilables en los productos "low carb". En la lista de ingredientes deben aparecer como almidones modificados y su uso en alimentos de inicio está siendo discutido en el Codex Alimentarius.

- Los caramelos líquidos son muy utilizados como colorantes en la industria alimentaria, fundamentalmente en bebidas gaseosas, pero también en bebidas alcohólicas y licores, en panificación y en salsas. A pesar de su denominación no aportan sabor dulce, sino color y aroma y no son considerados en el aporte energético.

El aceite de maíz

El contenido graso medio del grano de maíz es relativamente bajo (3-5%), el aceite de maíz se extrae del germen proveniente de la molienda húmeda y de la molienda seca. La extracción se realiza mayoritariamente con solvente, ya que el porcentaje de aceite no justifica en términos económicos el método de prensado. El solvente utilizado industrialmente es el hexano y el aceite obtenido debe ser refinado obligatoriamente, como indica el Código Alimentario Argentino (CAA). Respecto de las propiedades organolépticas, es un aceite neutro y suave que lo hace muy aceptable para consumo directo.

El aceite de maíz virgen existe en el mercado como especialidad en muy poca cantidad.

La composición de los aceites producidos en el país figuran en las tablas 1 y 3, según los datos compilados y proporcionados por la ASAGA. A efectos comparativos también figura la composición del aceite de palma que, si bien no se produce a nivel local, constituye el mayor volumen de producción mundial.

En el análisis de los ácidos grasos presentes en el aceite de maíz y su comparación con otros aceites vegetales, se destaca lo siguiente:

- Son predominantes los poliinsaturados, siendo el total 47%.

- El ácido linoleico (C18:2) es el predominante, al igual que en los demás aceites vegetales producidos en el país como el girasol, soja y uva. Sin embargo, su porcentaje de 46% es sensiblemente menor al del resto de los aceites mencionados: 57 - 68%.

- El ácido linolénico (C18:3) está en muy baja proporción, lo que influye en la mayor estabilidad del aceite de maíz frente al deterioro. El contenido de 1% es similar a otros aceites vegetales, excepto el de soja donde se ubica en el 8%.

- El porcentaje de ácido oleico del 37% es relativamente elevado si se compara con el aceite de soja, girasol y uva que están en el rango de 19 - 26%. Este contenido, sin embargo es muy inferior al compararlo con los aceites ricos en oleico como el de oliva y el girasol alto oleico (69 - 80%). Este aumento de monoinsaturados se produce a expensas de la disminución de los poliinsaturados.

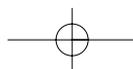
- En la composición de ácidos grasos saturados, se observa que el ácido esteárico (C18:0) está prácticamente ausente, en cambio el ácido palmítico (C16:0) está presente en concentraciones del 14%, niveles semejantes al de soja y oliva (12%) y muy inferior al de palma (48%).

La estabilidad del aceite de maíz es muy buena debido a su composición en ácidos grasos, ya que el porcentaje de ácido linolénico es menor al 1%, siendo éste el ácido graso con mayor susceptibilidad al deterioro por la presencia de sus tres dobles enlaces. La utilización de atmósferas inertes, tanto durante el almacenamiento a granel como en el envase, y la refinación previa al envasado final, también contribuyen a la estabilidad.

El relativo alto porcentaje de oleico y palmítico, el menor contenido de linoleico y el muy bajo contenido de linolénico, hacen que el aceite de maíz sea adecuado para fritura, cuando económicamente es posible, en los países de alta producción como los EE.UU.

Los únicos aditivos permitidos en los aceites por CAA son los antioxidantes y no se permiten colorantes ni saborizantes. Sin embargo, a nivel nacional no es necesario el agregado de antioxidantes, ya que la moderna tecnología de obtención y refinación existente permite la obtención de aceites de excelente calidad y estabilidad.

Tabla 3 Principales Ácidos Grasos de Aceites (%)						
1ª Jornada Lípidos y Nutrición, noviembre 2003 - Asociación Argentina de Grasas y Aceites (ASAGA)						
	Soja	Girasol	Girasol al. oleico	Maíz	Uva	Oliva Palma
C16:0	12	5	5	14	5	12 48
C16:1	-	vestigio	-	vestigio	-	3 -
C18:0	4	6	5	2	4	4 5
C18:1	19	26	80	37	22	69 37
C18:2	57	63	10	46	68	11 10
C18:3	8	vestigio	-	1	1	1 vestigio
Σ SAT	16	11	10	16	9	16 53
Σ MONO	19	26	80	37	22	72 37
Σ POLI	65	63	10	47	69	12 10





Desde el punto de vista nutricional, los ácidos grasos linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3) son esenciales e intervienen en diversas rutas metabólicas a nivel de membrana celular y cerebro. Pertenecen a las series $\omega 6$ y $\omega 3$ respectivamente, dando origen por sucesivas elongaciones y desaturaciones a ácidos grasos insaturados de cadena larga, (ácidos araquidónico, eicosapentaenoico y docosahexaenoico). Las enzimas que participan son comunes a ambas series y cuando la proporción de los ácidos grasos precursores está muy desequilibrada, se produce una alteración en la relación de los productos finales. Se recomienda que la relación $\omega 6/\omega 3$ se encuentre en el rango de 5:1 a 10:1.

En el aceite de maíz, al igual que en la mayoría de los aceites vegetales de importancia comercial, la relación $\omega 6/\omega 3$ está muy desequilibrada por el alto porcentaje de ácido linoleico, encontrándose favorecida la serie $\omega 6$.

La presencia en el aceite de vitaminas y provitaminas liposolubles, tocoferoles y carotenoides sin actividad provitamínica y otros compuestos bioactivos como fitoesteroles depende de las condiciones empleadas en el proceso de refinación. Los contenidos de tocoferoles y esteroides de aceites son muy variables, según las condiciones empleadas en la etapa de desodorización, en la cual las temperaturas alcanzan a los 200-250 °C durante tiempos variables.

Los valores medios de estos componentes en distintos tipos de aceites figuran en la tabla 1, donde se puede observar que el aceite de maíz contiene muy alta concentración de esteroides, siendo el de mayor proporción de todos los aceites vegetales estudiados.

Conclusiones

El aporte nutricional del maíz debe analizarse para cada alimento o subproducto específico, ya que existen pocos alimentos en los cuales se consume el grano entero.

En líneas generales, se puede establecer que cuando se consume como hortaliza, constituye un producto saludable con bajo aporte energético, los hidratos de carbono presentes son en parte complejos, la concentración de azúcares dependerá del grado de maduración y con un valor de IG medio. El contenido de lípidos es bajo pero contiene todos los componentes liposolubles propios, vitaminas E y K, provitaminas A y carotenoides no provitamínicos. El contenido de sodio es bajo y alto el de potasio, pero deberá cuidarse el agregado de sal y manteca en la preparación.

Existen pocas formas de consumo del grano maduro entero como cereal, siendo una como golosina adicionadas de sal, azúcares y grasas.

La gran limitación del maíz desde el punto de vista nutricional es la calidad de su proteína, por la carencia de aminoácidos esenciales, siendo altamente deficiente en lisina y pobre en triptofano. Esto hace que sea necesario considerar que si el alimento está dirigido a la población infantil, no pueda ser la única fuente de proteína, debiendo ser complementada con proteínas ricas en lisina como las que se encuentran en leche, huevos, carne.

Si se desarrollaran alimentos en base a granos enteros con buena aceptación organoléptica y sin el agregado de ingredientes no aconsejables, sería posible la ingesta de un producto cuyas características serían:

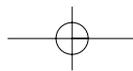
- buen aporte energético dado principalmente por el almidón;
- buen aporte de fibra dietaria;
- buen aporte de lípidos con alto contenido ácidos grasos esenciales de la serie $\omega 6$;
- buen aporte de vitaminas liposolubles como E y K y provitaminas A;
- buen aporte de vitaminas hidrosolubles como tiamina, riboflavina y niacina (considerar biodisponibilidad);
- buen aporte de componentes bioactivos como carotenoides y tocoferoles no provitamínicos, fitoesteroides y rafinosa;
- bajo contenido de sodio y alto de potasio.

Dada la resistencia del consumidor a la elección de los alimentos en función del aspecto saludable y la prevalencia de su satisfacción hedónica, es un desafío para la industria actual encontrar alimentos con buena aceptación que incorporen granos o harinas integrales en proporciones tales que el producto pueda ser considerado de grano entero. Los grupos de alimentos en que esto parece más factible son principalmente panes, pastas, barras de cereales y cereales de desayuno.

Bibliografía

- Almeida Domínguez N.G.; Valencia M.E. y Higuera-Ciajara I. Formulation of Corn-Based Snacks with High Nutritive Value: Biological and Sensory Evaluation. J. Food Sc. Vol 55, N°1, 1990
- Dietary Guidelines for Americans. <http://www.healthier.us.gov/dietaryGuidelines> 2005
- Dun Lukaczer, ND. The dietary solution to diabetes. Functional foods and Nutraceuticals. 38-44, June 2004
- FAO / OMS - Diet, Nutrition and Prevention of Chronic Diseases. WHO Technical Report Series 916 Geneva, 2003
- FDA: www.cfsan.fda.gov/~dms/fdhclm.html
- Gray, J. Carbohydrates: Nutritional and Health Aspects. ILSI Europe Concise Monograph Series, 2003.
- Heimo Scherz und Friedrich Senger. Food Composition and Nutrition Tables. Souci, S; Fachmann W & Kraut H, 5th ed. Medpharm & CRC Press, Stuttgart, 1994.
- Hurtado M.L.;Escobar B.; Estévez A.M. Mezclas legumbre / cereal por fritura profunda de maíz amarillo y de tres cultivares de frejol para consumo "snack". Arch. Lat. Nutr. Vol. 51, N°3, 301-308, 2001
- Importancia del Índice Glucémico. Editado por Laboratorios Abbott, 2005
- International Food Information Council: <http://ific.org>
- Institute of Food Science & Technology: Information Statement on Phytosterol Esters <http://www.ifst.org/hotspot29.htm>, 2005
- Menink, RP et al. Effects of dietary fatty acid and carbohydrate in the ratio of serum total HDL-cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins. Meta-analysis of 60 controlled trials. Am.J.Clin.Nutr. 77 (5), 1146-55, 2003
- National Institute of Health (NIH). www.nhi.gov, 2001
- Olivera Carrión, M. Alimentos funcionales con fitoesteroides. Aceites y Grasas, Tomo XV, Vol. 1, N° 58, 82-87. 2005
- Olivera Carrión, M. Grasas: ¿Buenas o Malas?, Énfasis Alimentación, Año XI, N° 1, 84-90. 2005.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA):
- Producción de pochocho: Una dulce explosión. Pantanelli, A. Alimentos Argentinos N° 16, 17-22, 2001.
- Edulcorantes de maíz Alimentos Argentinos N° 20, 26-27, 2002
- Reglamentos Técnicos MERCOSUR, 44/03, 46/03 y 47/03. 2004
- Runestad, Todd. How to live without trans fats. Functional Foods, 30-31, Dec-2004
- USDA Agricultural Research Service. Nutrient Data Laboratory, Nutrient Database. <http://nal.usda.gov/fnic/etext/000020.html#xtocid2381816>





Micotoxinas en maíz

Hector M. Godoy

Los hongos microscópicos causan problemas a los agricultores desde épocas muy remotas, porque pueden invadir las plantas en el campo y ocasionar severas enfermedades con las consiguientes pérdidas de rendimiento, o pueden atacar los productos almacenados después de la cosecha y producir pérdidas adicionales, con deterioro de la calidad nutricional, de las características organolépticas, etc. A todo esto se suma el hecho, de más reciente descubrimiento, de que algunas especies de hongos pueden producir sustancias de alta potencia tóxica, las micotoxinas, que contaminan los alimentos y ponen en peligro la salud de la población humana o animal.



Hongos toxicogénicos

En el momento actual, el riesgo toxicológico asociado con las micotoxinas se ha convertido en un aspecto central del problema de la invasión fúngica de los cultivos o de los granos almacenados (De Vries y col., 2002). Si bien por lo general las pérdidas de rendimiento no son despreciables, los daños no suelen ser de extrema gravedad. Los ataques de gran extensión o intensidad, donde las pérdidas pueden ser muy severas, sólo ocurren cuando se dan condiciones ambientales muy desfavorables, pero esto no es demasiado frecuente. En cambio, la presencia de niveles significativos de micotoxinas en los alimentos puede ocurrir bajo condiciones relativamente benignas, donde el crecimiento de los hongos es limitado, y en muchos casos difícilmente detectable a simple vista. Por esta razón, la inspección visual de los granos, que permite determinar el grado de daño producido por los hongos, no es un indicador confiable de la contaminación con micotoxinas, que sólo puede evaluarse mediante análisis químicos específicos (Trucksess y Pohland, 2002).

El estudio sistemático de metabolitos de hongos en cultivos experimentales permitió identificar varios centenares de toxinas, de estructuras y propiedades químicas muy diversas, pero afortunadamente sólo unas pocas de esas sustancias se encuentran en cantidades significativas en alimentos contaminados naturalmente, ya sea en el campo o durante el almacenamiento (Cole y Cox, 1981).

Factores que favorecen la contaminación

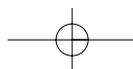
Las esporas de los hongos están siempre presentes: en los suelos, en los rastrojos de las cosechas previas, en la flora silvestre, suspendidas en el aire y transportadas por los vientos, o por los insectos, etc. De modo que no

es posible impedir que las plantas tengan en su superficie numerosas esporas de distintas especies de hongos. Esto por sí sólo no es determinante, porque para que tenga lugar una invasión o infección fúngica hace falta que ocurran condiciones que resulten favorables para el crecimiento del hongo, como temperatura y humedad adecuadas, y que simultáneamente los huéspedes, es decir, las plantas, tengan sus defensas debilitadas. Esto último ocurre cuando se dan condiciones ambientales que generan "estrés" en las plantas, tales como temperaturas demasiado altas o demasiado bajas, sequías prolongadas seguidas por períodos de humedad excesiva, daños físicos producidos por tormentas, granizos, insectos, etc. (Cole, Hill y col., 1982).

En estudios experimentales, se vio que la mayoría de los hongos del campo crecen en rangos de temperaturas entre 10 y 40 °C, en una zona de pH de 4 a 8, y con actividades acuosas (aw) superiores a 0.7. Esto implica que, aproximadamente, los hongos pueden crecer sobre granos que contengan más de un 13% de humedad.

Pero además de las condiciones ambientales, existen factores de susceptibilidad o resistencia intrínsecos, puesto que algunas variedades de granos pueden resultar más contaminadas que otras, aun frente a condiciones ambientales equivalentes. Por lo tanto, una de las líneas de trabajo importantes para prevenir la contaminación en el campo consiste en seleccionar los determinantes genéticos asociados con resistencia al ataque fúngico o a la síntesis de las micotoxinas.

Cuando las condiciones ambientales son benignas, los granos pueden llegar a la cosecha sin contaminación apreciable, pero manteniendo toda la



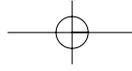
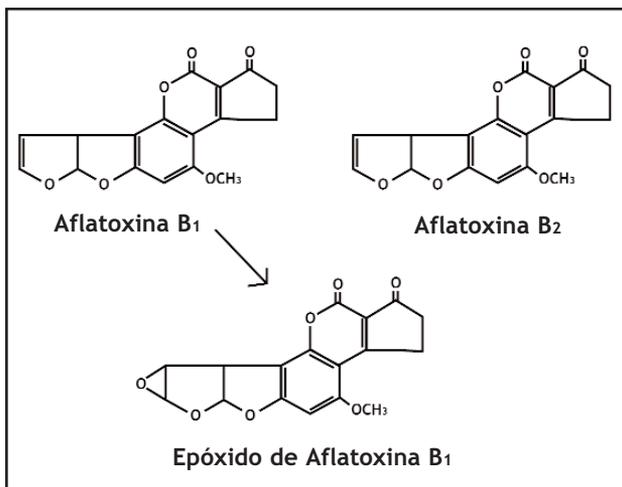


Tabla 1. Micotoxinas más frecuentes.			
TOXINA	HONGO PRODUCTOR	SUSTRATO MAS FRECUENTES	EFFECTOS PREDOMINANTES
Aflatoxinas	<i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i>	Maiz, Maní, Arroz	Cáncer Hepático. Necrosis
Fumonisinias	<i>Fusarium moniliforme</i>	Maiz Neurotoxicidad.	Cáncer
Deoxinivalenol	<i>Fusarium graminearum</i>	Maiz, Trigo, Cebada	Diarreas Vómitos Inmunotox
Zearalenona	<i>Fusarium graminearum</i>	Maiz	Hiperestrogenismo
Ocratoxinas	<i>A. ochraceus</i> <i>Penicillium viridicatum</i>	Trigo, Cebada, Arroz	Daño Renal - Cáncer
Acido ciclopiazónico	<i>A. flavus</i> , <i>P. cyclopium</i>	Maiz, Maní.	Daño cardiaco Neurotoxicidad
Toxina T-2	<i>Fusarium sporotrichioides</i>	Trigo, Cebada, Soja	Leucopenia, Inmunosupresión
Cilrinina	<i>Penicillium citrinum</i>	Cereales	Daño Renal

carga de esporas de hongos adquirida durante el crecimiento en el campo. Esto significa que el peligro de contaminación con micotoxinas continuará presente durante todo el período post-cosecha. Por ejemplo, es sumamente crítico el proceso de almacenamiento en silos, porque a menos que se adopten todos los recaudos para impedir que se acumule humedad, que aumente la temperatura, que los granos sean atacados por insectos, etc., inevitablemente se producirán condiciones favorables para la contaminación con micotoxinas (Trenk y Hartman, 1970).

La aplicación de fungicidas en el campo puede reducir el crecimiento de los hongos, pero no siempre se logra prevenir en forma eficaz la contaminación con micotoxinas. Aquí se dan circunstancias complejas, que se deben estudiar en cada caso particular. Por ejemplo, durante el desarrollo de las plantas puede existir una etapa "crítica" en la cual la susceptibilidad al ataque fúngico es mayor, de modo que un producto fungistático puede ser más eficaz si se aplica durante esa etapa. Por lo tanto, un control químico exitoso requiere un conocimiento biológico acabado de la interacción entre el patógeno, el huésped, las condiciones ambientales y la dosis de principio activo a utilizar. Se ha visto que una aplicación inadecuada de un fungicida, ya sea por mala elección del principio activo, del momento de aplicación, o de la dosis, puede generar un aumento, en lugar de una reducción en los niveles de micotoxinas (Gareis y Ceynowa, 1994).

En la Tabla 1 se puede ver un listado de las micotoxinas más frecuentes en los distintos productos



agrícolas, así como los hongos que las producen. Si se toman en cuenta únicamente las toxinas que contaminan el maíz, la lista se reduce, pero en realidad - a nivel mundial - la gran mayoría de los problemas de contaminación se centran en las siguientes toxinas: aflatoxinas, fumonisinias, deoxinivalenol (nivalenol), zearalenona y ocratoxinas. Excepto casos particulares, las demás toxinas tienen menor incidencia o menor toxicidad, o ambas cosas.

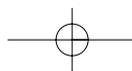
Aflatoxinas

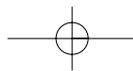
Originalmente, las aflatoxinas se descubrieron a raíz de una severa epidemia de aves de corral, que mató más de 100.000 animales. El estudio del alimento causal llevó a la identificación de cuatro sustancias tóxicas con propiedades similares, que se identificaron como aflatoxinas B₁, B₂, G₁ y G₂, y se demostró que son metabolitos secundarios del *Aspergillus flavus* y del *A. parasiticus*. Luego se vio que las aflatoxinas B₁ y G₁ son altamente hepatotóxicas y cancerígenas, mientras que B₂ y G₂ tienen mucho menor toxicidad y carecen de poder cancerígeno. Se ha demostrado que estas diferencias se deben a que las aflatoxinas B₁ y G₁ pueden ser metabolizadas en el hígado dando lugar a un "epóxido" sumamente reactivo, que es capaz de formar "aductos" con las moléculas de ácidos nucleicos, dando lugar a una "lesión bioquímica" muy grave a partir de la cual se desata una serie de reacciones en cascada que conducen a un desorden o a una pérdida progresiva de los sistemas de regulación y control de los ciclos de reproducción celular (Guengerich, Jonson y col., 1996).

En cambio, las moléculas de aflatoxinas B₂ y G₂, si bien tienen una mínima diferencia estructural con sus congéneres, no pueden ser "activadas" por biotransformación, y por lo tanto su toxicidad es mucho menor.

Cabe aclarar que, si bien es cierto que en casi todas las especies el hígado es el órgano más susceptible, las aflatoxinas también pueden producir daños en otros tejidos, como el riñón o el pulmón. Además, en determinadas condiciones también se pueden producir daños que afectan al sistema inmunológico, dando lugar a una mayor susceptibilidad a enfermedades infecciosas, interfiriendo con la eficacia de las vacunas, etc. (Raisuddin y col., 1993).

Las aflatoxinas son termoestables: pueden permanecer inalteradas a temperaturas superiores a 120°C. El tostado o la "peletización" con calor y presión pueden destruirlas parcialmente, pero no las eliminan totalmente. Es posible destruir las moléculas de estas toxinas, o "inactivarlas" en cuanto a su toxicidad, mediante tratamiento con algunos reactivos químicos, como el cloro o el ozono, hidróxido de sodio, amoníaco, etc. Lamentablemente, estos procesos no son compatibles con las normas para ali-





Productos	Aflatoxinas Totales (Af B1) µg/Kg	
	EU	USA
Maíz para consumo humano directo	4 (2)	20
Maíz para procesar	En estudio	20
Maíz para bovinos de carne (Terminación)	(10)	300
Maíz para cerdos (Terminación)	(20)	200
Maíz para bovinos de leche	(5)	20

mentos humanos, exceptuando los aceites comestibles, en los cuales las aflatoxinas son totalmente destruidas durante los procesos de refinación, que incluyen un tratamiento con álcali. En cambio, en la elaboración de alimentos para animales se ha ensayado la utilización de amoníaco gaseoso a presión, con lo que se logra destruir más del 99% de las aflatoxinas. El producto resultante es apto principalmente para rumiantes, porque en los monogástricos puede producir rechazo debido al sabor residual (Park y col, 1988).

Una manera alternativa de "inactivar" las aflatoxinas en alimentación animal consiste en agregar al alimento balanceado ciertas sustancias que actúan como "secuestrantes" porque pueden captar fuertemente las moléculas de aflatoxina y no son absorbidas en el intestino de los animales. Este procedimiento es relativamente económico y efectivo, siempre que los niveles de aflatoxinas no sean demasiado altos.

La Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) ha establecido que las aflatoxinas son cancerígenas para los seres humanos. Además de los trabajos experimentales con sistemas modelo, los estudios epidemiológicos demuestran que existe una estrecha correlación entre la ingesta de aflatoxinas en distintas poblaciones y la incidencia de cáncer hepático. Sin embargo, también se encontró una correlación similar con la infección con virus de hepatitis B (VHB). Más aún, mediante rigurosos estudios comparativos se determinó que la susceptibilidad a las aflatoxinas en poblaciones con alta prevalencia de serología positiva para el antígeno de VHB es unas 30 veces mayor que la susceptibilidad de las poblaciones no expuestas al virus, de lo cual se deduce que las aflatoxinas y el VHB se potencian mutuamente (IARC, 1993; Henry y col., 2002).

Teóricamente la fijación de límites máximos admisibles de aflatoxinas en los alimentos humanos o animales debería basarse en minimizar el riesgo de toxicidad, pero tratando de no ocasionar pérdidas innecesarias de productos con valioso poder nutricional. No cabe duda que sería deseable aplicar este proceso con una perspectiva global, es decir, teniendo en cuenta las realidades divergentes en las distintas regiones del mundo. Esto implicaría, por ejemplo, que deberían priorizarse medidas que tiendan a reducir la ingesta de aflatoxinas en las regiones o en los grupos de población donde hay una alta prevalencia de VHB y/o cáncer hepático. Lamentablemente, lo que existe en realidad es un sistema complejo de normas fijadas por los distintos países, que en muchos casos reflejan criterios divergentes en cuanto a la

evaluación de los riesgos y los beneficios. Un ejemplo de dichas divergencias se puede apreciar en la Tabla 2, donde se comparan algunas de las normas o recomendaciones vigentes en la Unión Europea y en los Estados Unidos de América (FAO, 1997).

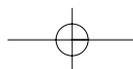
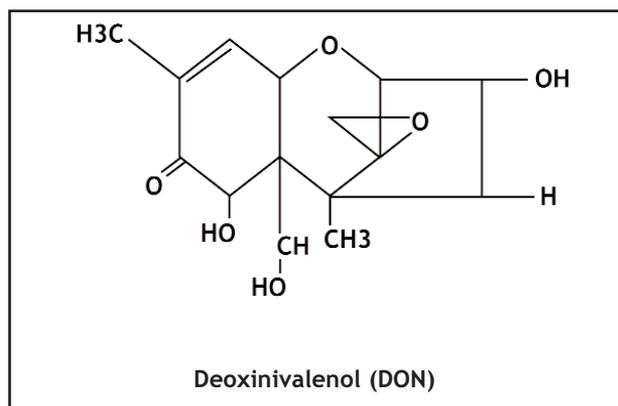
Los organismos internacionales, como el Codex Alimentarius, tienen como misión lograr un consenso entre los países miembros para armonizar las normas sobre micotoxinas.

Deoxinivalenol (DON)

El DON es una de las toxinas más abundantes en los alimentos humanos y animales, puesto que los hongos productores, tales como *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, y *F. crookwellense* pueden atacar una extensa gama de cultivos, tales como maíz, trigo, cebada, avena, etc., y tienden a proliferar particularmente cuando se dan condiciones climáticas de alta humedad y temperaturas relativamente bajas. En los últimos años, parece existir un aumento en la frecuencia de las epifitias producidas por *F. graminearum* en diversas regiones del mundo, comparado con los registros históricos. Esto podría deberse, en parte, a los cambios climáticos globales que parecen estar ocurriendo, pero también se ha señalado como un posible factor determinante la creciente utilización de la tecnología de siembra directa (o labranza cero), que genera condiciones de mayor riesgo para los cultivos, debido a la magnitud del inóculo fúngico presente en los rastrojos (McMullen y col., 1997; Dill-Macky y Jones, 2000)

Químicamente, el DON pertenece a la familia de los tricotecenos, que abarca más de 200 compuestos que tienen en común un núcleo de 12,13 epoxy tricoteceno, el cual es responsable de la toxicidad de dichas sustancias, debida a la capacidad de inhibir la biosíntesis de proteínas a nivel ribosomal.

Afortunadamente sólo unas pocas sustancias de este grupo se encuentran como contaminantes naturales de los alimentos: DON, nivalenol (NIV), toxina T-2, diacetoxiscirpenol (DAS), y algunos derivados acetilados, como 3- y 15-Acetil DON, fusarenona X, etc. Sin embargo, con excepción del DON y en menor medida el NIV, las demás toxinas sólo tienen





una incidencia muy esporádica y de baja intensidad. Si bien el DON es relativamente menos potente que las aflatoxinas o que otros tricotecenos, esto se compensa con el hecho de que los niveles de contaminación de los granos suelen ser mucho mayores, y por lo tanto la ingesta total puede llegar a ser mucho más alta que la de otras toxinas.

Un análisis histórico indica que el DON ha sido responsable de algunos brotes de enfermedad en seres humanos, debido al consumo de cereales contaminados con hongos del campo. Por supuesto, en la época en que ocurrieron dichos problemas no se conocían las micotoxinas, pero las características epidemiológicas de los brotes permitieron identificar a los hongos como factores causales de la enfermedad. La sintomatología observada fundamentalmente consiste en trastornos gastrointestinales: diarreas, vómitos, etc. Afortunadamente en esos casos los daños fueron reversibles y desaparecieron completamente al cesar el consumo de los cereales contaminados. Con posterioridad se vio que la misma sintomatología se produce en animales a los que se administra alimentos contaminados con DON (Bhat y col., 1989; Ramakrishna y col., 1989).

Como ocurre con otras micotoxinas, existe una notoria diferencia de susceptibilidad en distintas especies de animales. Los rumiantes son relativamente resistentes, aparentemente debido a que los microorganismos ruminales tienen la capacidad de reducir el grupo 12,13-epoxy de la molécula del tricoteceno, y con esto desaparece la toxicidad. Entre los monogástricos, los cerdos tienen una susceptibilidad muy acentuada, a tal punto que el DON recibió la denominación alternativa de vomitoxina debido al efecto emético que producen muy pequeñas cantidades del mismo en estos animales. Además, los cerdos rechazan el alimento conteniendo pequeñas cantidades de estas toxinas, por lo cual en muchos casos no se llegan a observar síntomas de intoxicación aguda, pero los animales pierden peso en lugar de engordar (Trenholm y col., 1984).

Si bien la toxicidad aguda del DON puede producir una sintomatología muy "espectacular", esto sólo ocurre con dosis muy altas, que serían prácticamente imposibles de alcanzar en las poblaciones cuya

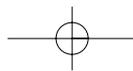
alimentación es provista por la actual tecnología agroalimentaria. Por lo tanto, los riesgos de toxicidad asociados con el DON, el nivalenol o sus derivados se centran en los posibles efectos a mediano o largo plazo que podrían derivar de una exposición prolongada a dosis bajas o muy bajas.

Afortunadamente, parece bien demostrado que estas toxinas no son mutagénicas ni cancerígenas, pero en estudios experimentales se ha visto que pueden producir alteraciones en el sistema inmunológico, que van desde una "activación" hasta una inmunosupresión, según los niveles de exposición a las toxinas. Este tipo de efecto es preocupante, y no cabe duda que alto grado de inmunosupresión sería un riesgo inaceptable, por razones obvias. Pero debe tenerse en cuenta que en los estudios experimentales se requieren niveles de ingesta del orden de 1000 veces mayores que los normales para producir un grado significativo de inmunosupresión. Dicho en otras palabras, todo indica que las posibles alteraciones en el sistema inmunológico producidas por la presencia de niveles moderados de DON en la dieta humana serían de escasa magnitud. Sin embargo, con el nivel actual del conocimiento es muy difícil determinar cuantitativamente la significación que dichas alteraciones podrían tener en cuanto a las respuestas del organismo frente a distinto tipo de agresiones (Rotter y col, 1996).

En general, las normas existentes en los distintos países tendientes a regular los niveles máximos permitidos de DON en los alimentos humanos o animales son mucho menos estrictas que las que se han establecido para las aflatoxinas, debido a la ausencia de efectos mutagénicos o cancerígenos. A su vez, las dosis relativamente altas requeridas para producir otro tipo de efectos en estudios experimentales, así como la falta de evidencia epidemiológica de daños asociados con el consumo a largo plazo de alimentos contaminados con pequeñas cantidades de estas toxinas, han llevado a algunos países a fijar niveles máximos de 1 mg/Kg de DON en productos para consumo humano directo (por ejemplo: EE.UU., Rusia, Suiza, Canadá, Mercosur). De alguna manera, podría decirse que estos límites surgieron de un "análisis empírico" de la realidad, sin referencia a una metodología concreta de evaluación.

Recientemente, el Comité Mixto de Expertos en Contaminantes de Alimentos de FAO/OMS (JECFA) realizó un estudio exhaustivo de las propiedades toxicológicas del DON y derivados, y aplicando la metodología formal previamente utilizada para la evaluación de aditivos alimentarios llegó a una "Ingesta Máxima Diaria Tolerable Provisional" (IMDTP) de 1 µg por kg de peso corporal. Si se toma como base este dato, parece probable que en muchos países la ingesta real de DON en la población exceda significativamente la IMDTP, por lo menos en los años en que se dan condiciones favorables para la proliferación del *F. graminearum*. Esto se debe, obviamente, a que los productos contaminados: maíz, trigo, cebada, etc., son alimentos básicos que tienen una alta representación en la dieta total de la población. Por lo tanto,

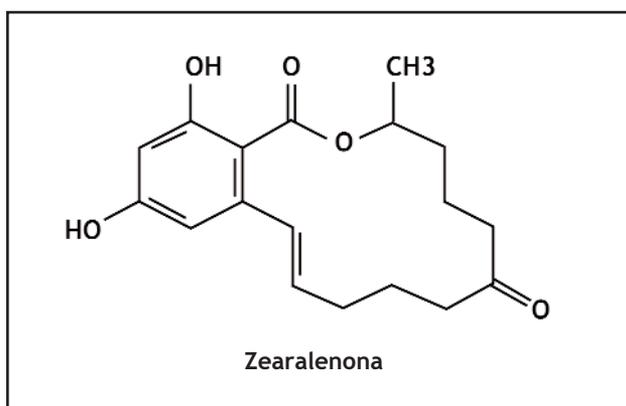




la Comunidad Europea ha propuesto aplicar un límite para DON de 0.5 mg/kg en productos a base de cereales para consumo humano directo (Codex Alimentarius Commission, 2002).

Zearalenona

La zearalenona es otra micotoxina producida por las mismas especies de *Fusarium* mencionadas anteriormente como productoras de DON, y se la encuentra principalmente en maíz, pero también en otros cereales como trigo, cebada, sorgo o arroz, y ocasionalmente también se la ha encontrado en soja.



Químicamente la zearalenona es una lactona del ácido resorcílico, y biológicamente se puede considerar como un "estrógeno xenobiótico", es decir, una sustancia que tiene la capacidad de actuar sobre los receptores estrogénicos en los tejidos animales o humanos, produciendo una respuesta similar a la de las hormonas que existen en el organismo.

Los efectos tóxicos más importantes de esta toxina se deben a su acción sobre los receptores estrogénicos, que si son estimulados en exceso dan lugar a hiperestrogenismo, con consecuencias dañinas para el sistema reproductivo. Prácticamente no se observa ningún otro tipo de efecto tóxico, excepto a dosis extremadamente altas (Farnworth y Trenholm, 1981).

En general, la especie más susceptible es el cerdo, pero a dosis suficientemente altas casi todas las especies pueden resultar afectadas. En estudios experimentales con cerdas a las que se administró zearalenona en niveles de 0.25 mg/kg se demostró que produce tumefacción y enrojecimiento de la vulva, hinchazón de las mamas y algunos folículos quísticos en los ovarios. Estos mismos efectos se han observado cuando se administra a los cerdos maíz contaminado naturalmente con niveles menores de zearalenona. A dosis del orden de 10 mg/kg, la toxina puede producir infertilidad, o camadas de tamaño sensiblemente reducido, y a dosis de 50 mg/kg se ha informado sobre abortos o muerte fetal (Farnworth y Trenholm, 1981). En rumiantes también se han observado signos de hiperestrogenismo, como por ejemplo una maduración sexual prematura en terneras, o vaginitis, estros prolongados e infertilidad en vacas y en ovejas (Coppock, 1990). Las aves son relativamen-

te resistentes, aun con dosis altas de zearalenona. El agregado de 10 a 800 ppm de zearalenona a la dieta de pollos parrilleros no produjo efectos sobre la ganancia de peso, el consumo de alimento, etc. Los pesos de hígado, corazón, bazo, testículos, oviducto, bursa, etc., fueron similares a los controles. En ponedoras, la zearalenona no tuvo efectos sobre la postura de huevos o la eficiencia reproductiva.

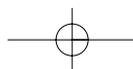
Los estudios de genotoxicidad realizados con varios sistemas modelo dieron mayoritariamente resultados negativos, con excepción del hallazgo de algunas aberraciones cromosómicas después de exponer células in vitro a muy altas concentraciones de zearalenona. Sin embargo, se observó que la toxina puede formar aductos con el ADN, pero esto sólo se encontró en ratones, no en ratas. En los estudios sobre efectos a largo plazo realizados con varias especies, se observaron algunos adenomas hepáticos y tumores de hipófisis en ratones, pero con baja incidencia y solamente con los niveles de dosis más altos (9 mg/kg de peso corporal), mientras que en ratas no se encontraron tumores. Todos estos resultados parecerían indicar que la zearalenona podría tener un ligero poder cancerígeno, pero dependiente de la especie. A su vez, el Comité de Expertos de FAO/OMS (JECFA) opinó que los tumores probablemente fueron debidos a los efectos estrogénicos de la zearalenona. Finalmente, el JECFA propuso una IDMT de 0.5 g/kg de peso corporal (World Health Organization, 2000).

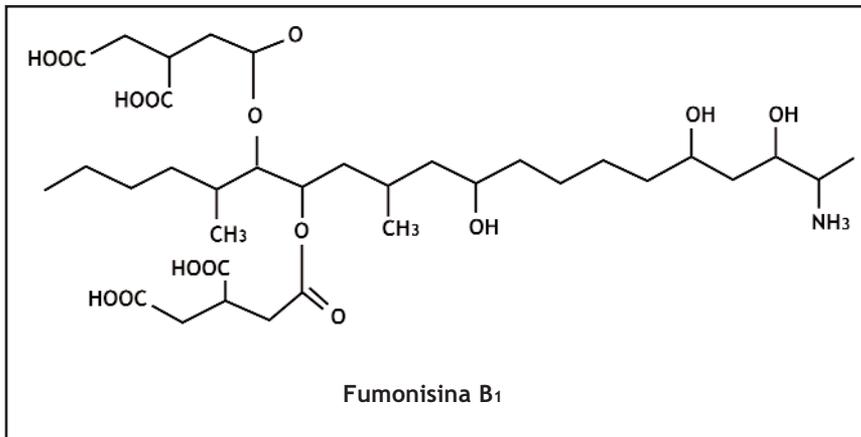
Por el momento, existen muy pocos países en los cuales se han fijado límites máximos para la contaminación con zearalenona en cereales o alimentos elaborados. La ingesta dietaria promedio de la población sólo ha sido evaluada en forma preliminar. Los datos hasta el momento indicarían que la ingesta total está bien por debajo del IDMT.

Fumonisin

Las fumonisin son un grupo de toxinas de estructura muy similar, producidas por varias especies de hongos del género *Fusarium*, pero principalmente por *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, (previamente *F. moniliforme* Sheldon), y *F. proliferatum* (Matsushima) Nirenberg. Estas especies se encuentran entre las que con mayor frecuencia contaminan el maíz en todo el mundo. Los granos atacados por este hongo pueden tener una coloración blanca o ligeramente rosada, pero muy frecuentemente la contaminación no es detectable a simple vista. Las mazorcas de maíz aparentemente intactas pueden contener el hongo y la toxina en cantidades significativas.

Durante mucho tiempo se vio que el maíz contaminado con *Fusarium verticillioides* producía toxicidad en animales, Los casos más notorios se observaban en caballos, donde se había establecido que los animales desarrollaban leucoencefalomalacia, un trastorno cerebral que aparecía inequívocamente asociado con el consumo de maíz contaminado con *Fusarium*. Durante la búsqueda de toxinas específicas en un primer momento se aisló la moniliformina, un metabolito tóxico para los animales, pero luego se vio que esta sustancia no produce los mismos





efectos que se observan en los animales intoxicados con maíz contaminado con *F. verticillioides*. En 1988, investigadores sudafricanos lograron aislar e identificar las fumonisinas, y constataron que estas sustancias eran capaces de reproducir la leucoencefalomalacia en caballos (Marasas, *et al.*, 1988). Posteriormente se vio que estas mismas toxinas pueden producir edema pulmonar en cerdos (Harrison *et al.*, 1990) y hepatotoxicidad en ratas (Gelderblom *et al.*, 1991).

La fumonisina B₁ es la más importante del grupo, por ser la que habitualmente se encuentra en mayor cantidad en el maíz contaminado. Químicamente es un diéster del ácido propano-1,2,3-tricarboxílico y el 2-amino-12,16-dimetil polihidroxi-cicosano. Las fumonisinas B₂ y B₃ también se encuentran como contaminantes del maíz, pero por lo general en cantidades mucho menores que la FB1. Otras moléculas análogas han sido aisladas e identificadas de los cultivos del hongo, pero su presencia en los granos es muy escasa o nula.

La fumonisina B₁ ha sido detectada en maíz o sus derivados en los cinco continentes. En general, los productos comerciales para consumo humano tienen una contaminación por debajo de 1 mg/kg, aunque ciertos productos individuales en algunos países pueden tener niveles sustancialmente mayores. Es interesante señalar que existe la posibilidad de que el maíz se encuentre contaminado simultáneamente con varias toxinas, como fumonisinas y aflatoxinas o fumonisinas y tricotecenos, según las condiciones ambientales que ocurran durante el crecimiento de las plantas.

Aparte de la leucoencefalomalacia equina, se ha demostrado que las fumonisinas producen un síndrome de edema pulmonar en cerdos, y además producen toxicidad hepática en la mayoría de las especies animales: ratas, ratones, caballos, conejos, cerdos, etc. También pueden producir toxicidad renal, particularmente en ratas y conejos (Marasas, 1995).

En los estudios de largo plazo, se vio que la fumonisina B₁ puede producir tumores malignos hepáticos en ratas y ratones, así

como carcinomas renales en por lo menos una cepa de ratas. En estudios de genotoxicidad, se encontró que la FB1 no es mutagénica, aunque en un ensayo con hepatocitos de rata se encontró que produce ruptura de cromosomas (US NTP, 1999).

La Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer ha considerado a las fumonisinas como "posiblemente cancerígenas para seres humanos", basado en los datos obtenidos en animales de experimentación (IARC, 1993). Por otra parte, se han aportado datos

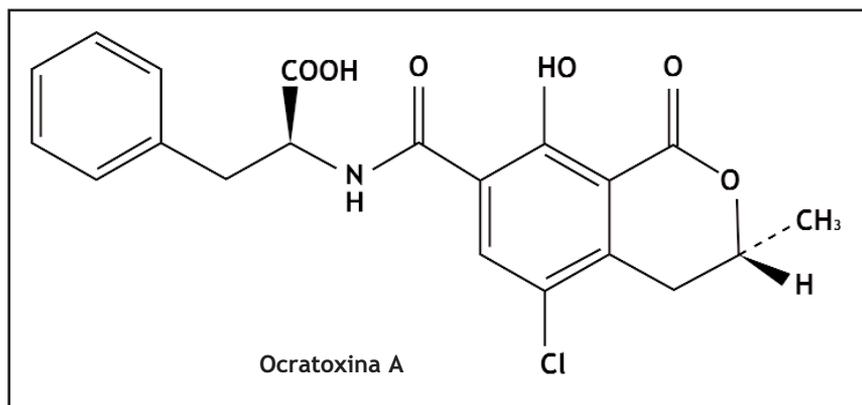
epidemiológicos que sugieren una asociación entre la ingesta dietaria de fumonisinas y el riesgo de cáncer esofágico humano. A este respecto, en una primera instancia se informó que en ciertas regiones de Sudáfrica y de China, donde ocurre una alta incidencia de cáncer de esófago, el maíz utilizado para la alimentación humana contenía niveles de fumonisina B₁ por encima de 100 mg/kg. Estos datos sin embargo no tienen entidad suficiente como para considerar probada una relación causal, pero el tema continúa siendo investigado (Blot, W.J. 1994; WHO, 2000).

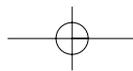
Después de evaluar los datos toxicológicos disponibles, el JECFA propuso una Ingesta Diaria Máxima Tolerable Provisional de 2 µg/kg de peso corporal por día para las fumonisinas B₁, B₂, y B₃, solas o en conjunto. Por otra parte, el Comité realizó una evaluación preliminar de la ingesta de fumonisinas en la población humana, indicando que, si bien sólo se dispone datos de unos pocos países, todas las estimaciones disponibles hasta el momento arrojan resultados que están por debajo del nivel de 2 µg/kg/día propuesto como ingesta máxima diaria (JECFA, 2001).

Ocratoxinas

Otro grupo de micotoxinas que pueden contaminar el maíz en determinadas regiones del mundo son las ocratoxinas, producidas por algunas especies de hongos de campo o de almacenamiento. Si bien se trata de varias sustancias con estructuras similares, la más abundante y la de mayor toxicidad es la Ocratoxina A.

La Ocratoxina A (OcrA) es producida por una sola especie de *Penicillium*: *P. verrucosum*, así como por *Aspergillus ochraceus* y otras especies de





Aspergillus. Estos microorganismos difieren en cuanto a los cultivos afectados y la frecuencia con que ocurren en distintas regiones geográficas. El *P. verrucosum* sólo crece a temperaturas inferiores a 30°C, y se lo encuentra en regiones de clima templado o fresco. Se lo considera como el responsable de la contaminación con ocratoxinas de cereales en general en Europa y Canadá. En cambio, *P. verrucosum* no se encuentra comúnmente en las regiones de clima tropical o subtropical. El *A. ochraceus* puede crecer esporádicamente sobre granos almacenados, pero se estima que rara vez produce cantidades sustanciales de OcrA en cereales (Sweeney y Dobson, 1998).

La OcrA es una potente toxina que afecta principalmente el riñón, en el cual puede producir tanto daños agudos como crónicos. El sitio susceptible es en particular el túbulo proximal, donde la toxina ejerce efectos citotóxicos, y en el largo plazo cancerígenos. Además, la OcrA es aparentemente genotóxica, aunque a este respecto los resultados de los ensayos son contradictorios, porque no se pudo demostrar una interacción directa entre la toxina y el ADN (Dörrenhaus y Föllmann, 1997; Degen y col., 1997).

La OcrA es teratogénica y embriotóxica en roedores y en pollos, pero no en cerdos. También se han demostrado efectos inmunosupresores en mamíferos. Sin embargo, estos efectos sólo se han observado a dosis significativamente mayores que las que producen nefrotoxicidad (Mayura y col, 1982).

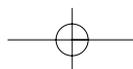
Los estudios de consumo dietario de OcrA indican que esta toxina incide fundamentalmente sobre las poblaciones de los países europeos. Incluso existe una hipótesis, que hasta el momento no ha sido confirmada, de que la OcrA podría estar involucrada como factor causal de una neuropatía endémica que afecta a las poblaciones de los países balcánicos (Nikolov y col, 1996).

Tras evaluar los efectos de esta toxina, el JECFA propuso en este caso una ingesta máxima tolerable semanal (en lugar de diaria) de 100 ng/kg de peso corporal (JECFA (1995)).

Referencias

- BHAT RV, BEEDU SR, RAMAKRISHNA Y, MUNSHI KL. 1989 Outbreak of trichothecene mycotoxicosis associated with consumption of mould-damaged wheat production in Kashmir Valley, India. *Lancet*. Jan 7;1:35-7.
- BLOT, WJ. (1994) Esophageal cancer trends and risk factors. *Semin. Oncol.*, 21, 403-410.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, CCFAC, 2002, 34th Session, Rotterdam, The Netherlands. Discussion paper on Deoxynivalenol.
- COLE, RJ, HILL, RA, BLANKENSHIP, PD, SANDERS, TH, GARREN, H., 1982. Influence of irrigation and drought stresses on invasion of *Aspergillus flavus* in corn kernels and peanut pods. *Dev. Ind. Microbiol.* 23: 299-326.
- COLE, RJ & COX, RH. 1981. Handbook of toxic fungal metabolites. Academic Press. New York.
- COPPOCK RW, MOSTROM MS, SPARLING CG, JACOBSEN B & ROSS SC. 1990 Apparent zearalenone intoxication in a dairy herd from feeding spoiled acid-treated corn. *Vet. Hum. Toxicol.*, 32, 246-248.
- DEGEN, GH, GERBER, MM, OBRECHT-PFLUMIO, S., AND DIRHEIMER, G. 1997. Induction of micronuclei with ochratoxin A in ovine seminal vesicle cell cultures. *Arch. Toxicol.* 71, 365-371.
- DEVRIES, JW, TRUCKSESS, MW AND JACKSON, LS., eds. 2002. *Mycotoxins and Food Safety (Advances in Experimental Medicine and Biology, Vol.504)*. Kluwer Academic-Plenum Publishers. New York.
- DILL-MACKY R, JONES RK. 2000. The effect of previous crop residues and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Disease* 84, 71-76.

- DÖRRENHAUS, A. AND FÖLLMANN, W. 1997. Effects of ochratoxin A on DNA repair in cultures of rat hepatocytes and porcine urinary bladder epithelial cells. *Arch. Toxicol.* 71, 709-713.
- FAO, 1997, Worldwide regulations for mycotoxins. A compendium. FAO Food and Nutrition Paper 64, Rome.
- FARNWORTH ER, TRENHOLM HL. 1981 The effect of acute administration of the mycotoxin zearalenone to female pigs. *J Environ Sci Health B.*;16:239-52.
- GAREIS M, CEYNOWA JI. 1994. Effect of the fungicide matador (tebuconazole/ triadimenol) on mycotoxin production by *Fusarium culmorum*. *Z Lebensm Unters Forsch.* 198, :244-8.
- GELDERBLOM WC, KRIEK NP, MARASAS WF, THIEL PG. 1991. Toxicity and carcinogenicity of the *Fusarium* moniliforme metabolite, fumonisin B1, in rats. *Carcinogenesis*.12, 1247-51.
- GUENGERICH, FP, JOHNSON, WW, UENG, YF, & SHIMADE, T. 1996 Involvement of cytochrome P450, glutathione S-transferase, and epoxide hydrolase in the metabolism of aflatoxin B1 and relevance to risk of human liver cancer. *Environ. Health Perspect.* 104, 557-562.
- HARRISON LR, COLVIN BM, GREENE JT, NEWMAN LE, COLE JR. 1990. Pulmonary edema and hydrothorax in swine produced by fumonisin B1, a toxic metabolite of *Fusarium moniliforme*. *J Vet Diagn Invest.* 2, :217-21.
- HENRY SH, BOSCH FX, BOWERS JC. 2002. Aflatoxin, hepatitis and worldwide liver cancer risks. *Adv Exp Med Biol.* 504, 229-33.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 1993. Aflatoxins. Summaries and Evaluations. Vol 56, pg. 245)
- IARC 1993. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, Vol. 56, Lyon: IARC Press, pp. 445-466.
- JECFA 1995. Evaluation of certain food additives and contaminants. Forty-fourth report. WHO Technical Report Series No. 859, p. 35-36.
- JECFA 2001. Food safety evaluation of several mycotoxins. Fifty-sixth meeting. Geneva. Switzerland.
- MARASAS WF, KELLERMAN TS, GELDERBLOM WC, COETZER JA, THIEL PG, VAN DER LUGT JJ. 1988. Leukoencephalomalacia in a horse induced by fumonisin B1 isolated from *Fusarium moniliforme*. *Onderstepoort J Vet Res.* 55, 197-203
- MARASAS WF. 1995 Fumonisin: their implications for human and animal health. *Nat Toxins.* 3, 193-8.
- MAYURA K, REDDY RV, HAYES AW, BERNDT WO. 1982. Embryocidal, fetotoxic and teratogenic effects of ochratoxin A in rats. *Toxicology.* 25, 175-85.
- MCMULLEN, M, JONES, R., GALLENBERG, D. 1997. Scab of wheat and barley: a reemerging disease of devastating impact. *Plant Disease* 81, 1340-1348.
- NIKOLOV, I.G., PETKOVA-BOCHAROVA, D., CASTEGNARO, M., PFOHLESKOWICZ, A, GILL, C, DAY, N, CHERNOZEMSKY, IN. 1996. Molecular and epidemiological approaches to the etiology of urinary tract tumors in an area with balkan endemic nephropathy. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 15, 201-207.
- PARK DL, LEE LS, PRICE RL, POHLAND AE. 1988 Review of the decontamination of aflatoxins by ammoniation: current status and regulation. *J Assoc Off Anal Chem.* 71, 685-703.
- RAISUDDIN, S, SINGH, KP, ZAIDI, SIA, PAUL, BN, RAY, PK. 1993. Immunosuppressive effects of aflatoxin in growing rats. *Mycopathologia* 124:189-194.
- RAMAKRISHNA Y, BHAT RV, RAVINDRANATH V. 1989. Production of deoxynivalenol by *Fusarium* isolates from samples of wheat associated with a human mycotoxicosis outbreak and from sorghum cultivars. *Appl Environ Microbiol.* 55, 2619-20.
- ROTTER BA, PRELUSKY DB, PESTKA JJ. 1996. Toxicology of deoxynivalenol (vomitoxin). *J. Toxicol. Environ. Health* 48, 1-34.
- SWEENEY MJ, DOBSON AD. 1998. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *Int J Food Microbiol.* 43, 141-58.
- TRENHOLM HL., HAMILTON RMG, FRIEND DW, THOMPSON BK, HARTIN KE. 1984. Feeding trials with vomitoxin (deoxynivalenol)-contaminated wheat: effects on swine, poultry, and dairy cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 185, 527-531.
- TRENK HL, HARTMAN PA. 1970. Effects of moisture content and temperature on aflatoxin production in corn. *Appl Microbiol.*, 781-4.
- TRUCKSESS MW, POHLAND AE. 2002. Methods and method evaluation for mycotoxins. *Mol Biotechnol.* 22, 287-92.
- US NTP. 1999. NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies of fumonisin B1. in F344/N rats and B6C3F1 mice (feed studies). National Toxicology Program. US Department of Health and Human Services. NIH Publication No. 99-3955.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2000. Fumonisin B1 (Environmental Health Criteria 219), Geneva.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION 2000. Zearalenone. Fifty-third meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA).





Impacto de los cultivos modificados genéticamente en la contaminación con micotoxinas

Sofía Noemí Chulze



El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los principales cereales que se cultivan y consumen en el mundo. Este cultivo puede ser infectado por hongos toxicogénicos tales como *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg y *F. proliferatum* (Matsushima) Nirenberg con la consiguiente producción de fumonisinas (Chulze *et al.*, 1996; Chulze *et al.*; 1998; Farnochi *et al.*, 1997; Ramirez *et al.*, 1996).

Los principales daños causados por especies del género *Fusarium* en maíz y otros cereales son la podredumbre de la mazorca, tallo y raíz, pudiendo variar el grado de infección de acuerdo a la vía de entrada (Fig.1). Se puede desarrollar una planta enferma a partir de una semilla infectada asintomática que puede causar declinamiento o muerte de la planta antes de alcanzar el estado reproductivo, en estos casos la infección no pasa a otros integrantes de la cadena alimentaria.

Fusarium verticillioides puede infectar las raíces de las plantas a partir de su presencia en los residuos de plantas o en el suelo. Puede permanecer en el suelo dentro de los fragmentos de los tallos enterrados a 30 cm de la superficie, con humedad de 5 a 35% y temperatura de 5 a 10°C durante 12 meses. En la primavera, las ascosporas (cuerpos de resistencia que permiten la supervivencia del hongo en condiciones desfavorables) son liberadas bajo condiciones cálidas y húmedas, y son diseminadas por el viento hasta los tallos y espigas. Las ascosporas germinan y pueden penetrar directamente a través de las heridas e iniciar la infección primaria. Existe otra vía de dispersión por el viento de las esporas en la superficie de las hojas, desde donde serán lavadas hacia las

vías foliares y tallo y desde allí la infección secundaria podrá progresar hacia el tallo, las hojas y las espigas a través del canal de los estilos.

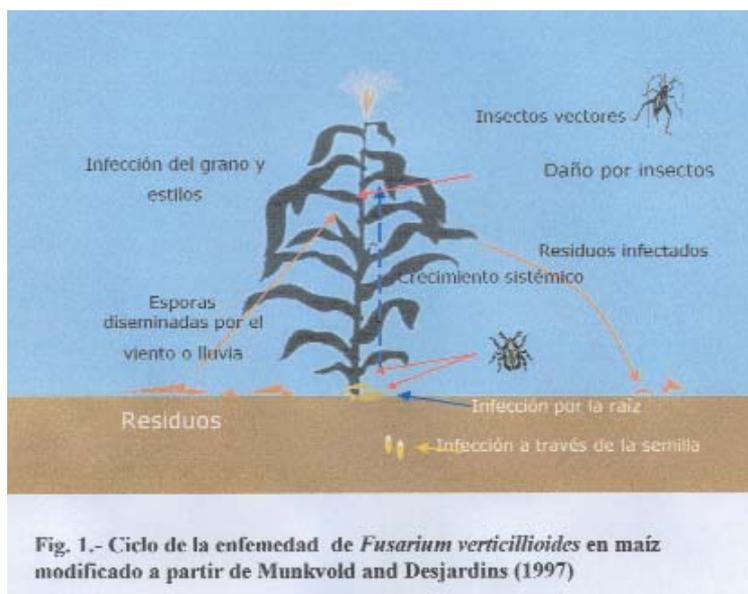
F. verticillioides es un hongo endofito en maíz y permanece en la planta asintomática. A partir del ciclo de la enfermedad se puede apreciar que la contaminación fúngica comienza en el campo y se traslada al cereal almacenado.

Otras especies de *Fusarium*, por ejemplo *Fusarium graminearum* Schwabe, también pueden infectar el maíz produciendo tricotecenos y zearalenona. También especies dentro de *Aspergillus*, sección flavi, pueden contaminar maíz con la consecuente formación de aflatoxinas (Torres *et al.*, 1997)

Entre las estrategias para reducir la contaminación con micotoxinas se pueden mencionar: alterar las condiciones bajo las cuales se desarrolla el cultivo, métodos de labranza, rotación de los cultivos, fecha y densidad de siembra, e irrigación. (Ramirez *et al.*, 1997)

Las investigaciones actuales exploran el potencial de la introducción en el maíz de genes de resistencia contra los hongos toxicogénicos y sus toxinas. Dichas estrategias se enfocan en tres aspectos: reducción de la infección por el patógeno; inserción de genes capaces de degradar las toxinas, y reducción de la acumulación de la toxina por interferencia de la vía biosintética.

La primera estrategia incluye mejorar la capacidad de defensa de la planta gracias a la introducción de genes que expresen proteínas antifúngicas o metabolitos secundarios, compuestos fenólicos o estilbenos.





En referencia al segundo aspecto, se han aislado y clonado genes de enzimas capaces de metabolizar la toxina, como la fumonina esterasa y la amino oxidasa, provenientes de la levadura *Exophiala spinifera*. Dichos genes se han expresado en plantas de maíz.

La tercera estrategia se basa en mejorar genéticamente las plantas para producir proteínas o compuestos que interfieren con la biosíntesis de las micotoxinas, dicha estrategia ha sido aplicada a las aflatoxinas, tricotecenos y fumonisinas .

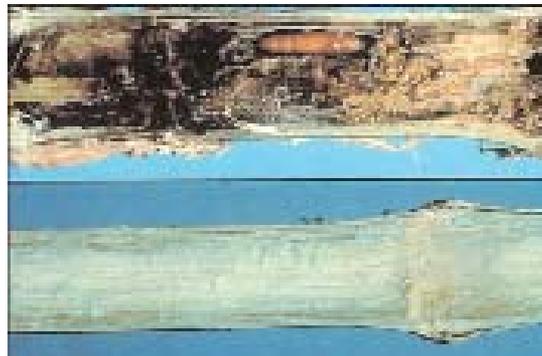
Estas estrategias están en la etapa experimental de desarrollo o bajo investigación, y no hay aún cultivos mejorados con estas características en el mercado.

Una estrategia para el control de insectos plaga ha sido desarrollada en los últimos años con la introducción de las secuencias que codifican la expresión de las proteínas Cry derivadas de *Bacillus thuringiensis* en las plantas de maíz (de ahí que se los conozca como "maíces Bt").

Estudios realizados con estos maíces en Italia, Francia, España, EE.UU. y la Argentina han demostrado reducción en los niveles de fumonisinas de entre un 47 y 97%, en comparación con líneas isogénicas convencionales (no Bt). (Tabla 1)

La contaminación con deoxinivalenol (DON) o sus derivados y nivalenol (NIV) no fue afectada por el uso de estos maíces modificados genéticamente.

Durante la campaña agrícola 2000/2001 se implementaron 57 ensayos a través de tres provincias de la Argentina donde los principales insectos plaga (lepidópteros) que producen galerías en maíz son *Diatrea saccharalis* y *Helicoverpa zea*. Se logró un incremento promedio de la



Caña de maíz infectada con *Diatrea saccharalis* (arriba) y caña de maíz Bt (abajo)

producción del 12% por el control de los insectos. Aflatoxinas y deoxinivalenol fueron detectados y en algunos sitios, fumonisinas B₁ y B₂. En promedio, los niveles de fumonisinas se redujeron en un 66%, de 5,63 ppm (partes por millón) detectadas en el híbrido isogénico control, a 1,93 ppm en el híbrido Bt. En términos de frecuencia de aparición de concentraciones altas (más de 10 ppm), éstas se detectaron en 10 localidades para el híbrido convencional pero sólo en un sitio para el híbrido Bt.

Durante la campaña agrícola 2003/2004 se llevaron a cabo otros ensayos en la Argentina en diferentes localidades. En estos ensayos se detectó deoxinivalenol en bajas concentraciones, no se detectaron aflatoxinas y se encontró presencia de fumonisinas en todas las localidades. En general, se observó reducción en los niveles de fumonisinas en los híbridos Bt en comparación con los híbridos isogénicos no Bt.

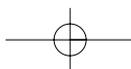
Aunque se están explorando numerosas enfoques para la resistencia transgénica a micotoxinas, la implementación y comercialización de estos maíces híbridos debe enfrentar aún numerosas barreras técnicas, económicas y sociales.

Bibliografía

Avantaggiato, G., Quaranta, F. Desiderio, E., Visconti, A. (2002). Fumonisin contamination of maize hybrids visibly damaged by *Sesamia*. J. Sci. Food Agric. 83:13-18
 Bakan, B., Melcion, D., Richard-Molard, D., Cahagnier, B (2002). Fungal growth and Fusarium mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain. J. Agric. Food Chem. 50:728-731.
 Chulze, S.; Ramirez, M. L.; Farnochi, M. C.; Pascale, M.; Visconti, A.; March, G. (1996). Fusarium and fumonisins occurrence in Argentinian corn at different ear maturity stages. J. Agric. and Food Chem. 44: 2797-2801.
 Chulze, S.; Ramirez, M. L.; Pascale, M.; Visconti, A. (1998). Fumonisin production by and mating population of Fusarium section *Liseola* isolates from maize in Argentina. Mycological Research 102: 141-144.
 Clements, M.J., Campbell, K.W., White, D.G., Maragos, C.M., Pilcher, C. (2001) Effects of insect damage on Fusarium ear rot and fumonisin concentration in Bt and non-Bt corn hybrids (Abstr.). Phytopathology 91:517.
 Duvick J. (2001) Prospects for reducing fumonisin contamination of maize through

Tabla 1 - Comparaciones de podredumbre de la mazorca y concentraciones de micotoxinas en maíces híbridos transgénicos con protección contra insectos (híbridos Bt) y su contraparte convencional (híbrido isogénico ^a)				
Reducción de podredumbre de mazorca ^b	Reducción de fumonisinas	Reducción de deoxinivalenol	Reducción de aflatoxinas	Bibliografía
SI	SI	SI ^c	NI	Bakan et al., (2002)
SI	SI	NI	NI	Clements et al., (2001)
SI	SI	NI	NO	Dowd (2000)
NI	SI	NI	NI	Harris et al., (1999)
NI	NO	SI	NI	Maga et al., (2002)
SI	SI	NO	NO	Masoero et al., (1999)
NO ^d	NI	NI	NO	Maupin et al., (2001)
SI	SI	NI	NI	Munkvold et al., (1999)
SI	SI	NI	NI	Munkvold et al., (2002)
SI	NI	NI	NI	Munkvold et al., (1997)
SI	SI	NI	NI	Munkvold et al., (2000)
SI	SI	NO	NO	Munkvold et al., (2000)
SI	SI	NI	NI	Munkvold et al., (2001)
SI	NO	NI	NI	Munkvold et al., (2002)
NO	NI	NI	NI	Munkvold et al., (2002)
SI	NI	NI	NI	Munkvold et al., (2002)
NI	NI	NI	SI/NO	Odvody et al., (2000)
SI	SI	NO	NO	Pietri
NI	NI	SI	NI	Schaafsma et al. (2002)

^aSI= Híbrido Bt con niveles reducidos, NO= híbrido Bt que no mostró reducción en los niveles de toxina, NI= no informado, SI/NO= resultados diferentes en experimentos repetidos
^b observación visual o contenido de ergosterol
^c Reducción en otros tricotecenos y zearalenona también fue observado
^d Todos los híbridos fueron inoculados con *Aspergillus flavus*





genetic modification. *Environ. Health Perspect.* 109:337-342.

Farnochi, M. C.; Etcheverry, M.; Dalcero, A.; Chulze, S. (1997). Fusarium species (section *Liseola*) and fumonisins in storage corn from Argentina. *Cereal Res. Comm.* 25: 587-589.

Hammond, B., Campbell, K., DeGooyer, T., Robinson A., Richard, J., Sequeira, J., Cea, J., Pancke, M., Pierre, T., Pinson, L., Radu, C., Esin, H., Tatli, F., Grogna, (2003) R. Reduction of fumonisin levels in grain from Bt corn. The Second World Mycotoxin Forum, Noordwijk, Holland.

Hammond, B.G., Campbell, K.W., Pilcher, C.D., DeGooyer, .A., Robinson, A.E., Mc Millen, B.L., Spangler, S.M., Riordan, S.G., Rice, L.G. Richaard, J. (2004) Lower fumonisin mycotoxin levels in the grain of Bt corn grown in the United States in 2000-2002. *J. Agric. Food Chem.* 52:1390-1397

Harris, L.J., Desjardins, A.E., Plattner, R.D., Nicholson, P., Butler, G. (1999) Possible role of trichothecene mycotoxins in virulence of *Fusarium graminearum* on maize. *Plant Dis.* 83:954-960.

Magg, T., Melchinger, A.E., Klein, D., Bohn, M. (2002) Relationship between European corn borer resistance and concentration of mycotoxins produced by *Fusarium* spp in grains of transgenic Bt maize hybrids, their isogenic counterparts, and commercial varieties. *Plant Breed.* 121:146-154

Masoero, F., Moschini, M., Rossi, F., Prandini, A., Pietri, A., (1999) Nutritive value, mycotoxin contamination and in vitro rumen fermentation of normal and genetically modified corn (*CryIA(b)*) grown in northern Italy. *Maydica* 44:205-209

Maupin, L.M., Clements, M.J., Walker, S.L., White, D.G. (2001) Effect of *CryIA(b)* on *Aspergillus* ear rot in commercial corn hybrids. *Phytopathology* 91:559

Munkvold, G.P. (2003) Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize. *Ann. Rev. Phytopathol.* 41:99-116

Munkvold G.P., Biggerstaff, C.M. (2002) Stalk rots and ear rot in Bt and non Bt hybrids, Crawfordsville, Iowa, 2000. *Biol. Cult. Tests Control Plant Dis.* 17:C06

Munkvold, G.P., Biggerstaff, C.M., Cummins, G (2002) Stalk rot and ear rots in Bt and non Bt hybrids, Nashua, Iowa, 2000. *Biol Cult. Test Control Plant Dis.* 17:Co4

Munkvold, G.P., Biggerstaff, C.M., Cummins, G (2002) Stalk rot and ear rots in Bt and non Bt hybrids, Riceville, Iowa, 2000. *Biol Cult. Test Control Plant Dis.* 17:CO5

Munkvold, G.P., Desjardins, A.E. (1997) Fumonisins in maize: can we reduce their occurrence? *Plant Dis.* 81: 556-565

Munkvold, G.P., Hellmich, R.L., Rice, L.G. (1999) Comparison of fumonisin concentration in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non-transgenic hybrids. *Plant Dis.* 83:130-138

Munkvold, G.P., Hellmich, R.L., Rice, L.G. (2001) Effects of Bt transformation events on *Fusarium* ear rot and fumonisins. 1999. *Biol. Cult. Test Control Plant Dis.* 2001:C2

Munkvold, G.P., Hellmich, R.L., Showers, W.B. (1997) Reduced *Fusarium* ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. *Phytopathology* 87:1071-1077

Odvody, G.N., Chilcutt, C.F., Parker, R.D., Benedict, J.H. (2000) Aflatoxin and insect response of near isogenic Bt and non Bt commercial corn hybrids in South Texas. *Proc. USDA-ARS Aflatoxin-fumonisin workshop, Fish Camp, CA Oct 25-27 p 121*

Pietri, A., Piva, G., (2000) Occurrence and control of mycotoxins in maize grown in Italy. *Proc. Int. Feed Prod. Conf.* 6 th, Piacenza, Italy pp 226-236 Nov. 27-28

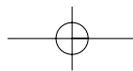
Ramírez, M. L.; Pascale, M.; Chulze, S.; Reynoso, M.M.; March, G; Visconti, A. (1996). Natural occurrence of fumonisins and their correlation to *Fusarium* contamination in commercial corn hybrids grown in Argentina. *Mycopathologia* 135: 29-34.

Ramirez, M. L.; Torres, A.; Rodriguez, M.; Castillo, C.; Chulze, S. (1997). *Fusarium* and fumonisins in corn at harvest time: effect of fertilization and planting area. *Cereal Res. Comm.* 25: 381-383.

Schaafsma, A.W., Hookeer, D.C., Baute, T.S., Illincic Tamburic, L. (2002) Effect of Bt corn hybrids on deoxyvalenol content in grain at harvest. *Plant Dis.* 86: 1123-1126.

Torres, A.; Ramirez, M. L.; Reynoso, M. M.; Rodriguez, M.; Chulze, S. (1997). Natural co-occurrence of *Fusarium* species (Section *Liseola*) and *Aspergillus flavus* group species, fumonisin and aflatoxin in argentinian corn. *Cereal Res. Comm.* 25: 389-392.





Biología y maíz

Gabriela Levitus



El maíz (*Zea mays L. ssp mays*) es en el mundo el tercer cultivo en importancia, luego del arroz y del trigo. Según los últimos datos de la FAO, en 2004 se sembraron unas 145 millones de hectáreas de este cereal, con una producción que alcanzó las 700 millones de toneladas. La Argentina es un importante productor de maíz, luego de Estados Unidos, China, Brasil y México. En la última campaña se sembraron en nuestro país 2,5 millones de hectáreas, de las cuales el 90% correspondieron a las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, La Pampa y Entre Ríos. La superficie global del maíz continúa creciendo, y se estima que para el año 2020 la demanda mundial será mayor que la de trigo y arroz. Para responder a esta demanda y abastecer las necesidades de una población en aumento, la productividad del

maíz deberá incrementarse en forma significativa. Para eso deberán adoptarse variedades superiores, mejores estrategias de manejo y nuevas tecnologías que permitan optimizar la producción sin la necesidad de aumentar el área sembrada.

La mayor parte de la producción del maíz se destina a la alimentación animal. El resto se procesa para la obtención de diferentes productos, los que son consumidos directamente por las personas o sirven para la manufactura de alimentos u otros productos industriales. Del maíz se consumen principalmente el aceite, la harina y el almidón. Este último no sólo se usa en la elaboración de alimentos sino también en otras industrias, como la textil, del papel, farmacéutica, y sirve a su vez como material de partida para la obtención de jarabe de alta fructosa, etanol y biopolímeros.

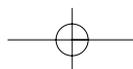
La biología y el mejoramiento vegetal

Hace más de 10.000 años el hombre comenzó a mejorar sus cultivos de una manera empírica, cruzando las plantas y seleccionando las mejores semillas para sembrarlas en los años siguientes. Esta selección artificial se basaba en el vigor, tamaño, aroma, apariencia y sabor, entre otras características deseadas, y dio origen, al cabo de muchos años, a las variedades de alto rendimiento. Con este tipo de selección se obtuvieron todas las plantas comestibles actuales, incluyendo el maíz. Las evidencias indican que el centro de origen de *Zea mays ssp. mays* fue la región mesoamericana (actualmente México y América Central), y que su domesticación se inició hace al menos unos 6.000 años. Esta domesticación, basada en la selección artificial, transformó al precursor sil-

vestre del maíz, el teosinte, en el importante cultivo comestible que hoy es el maíz.

Como se mencionó, el mejoramiento convencional de los cultivos se basa en el cruzamiento de plantas que presentan las características deseadas y la posterior selección de los mejores individuos entre las varias generaciones de descendientes. Así, la obtención de una variedad nueva puede llevar entre ocho a diez años. Es por eso que los fitomejoradores están interesados en las nuevas tecnologías que permitan acelerar y hacer más eficiente este proceso. Una herramienta que ayuda en este sentido es la selección asistida por marcadores, método que permite seleccionar a los individuos deseados según un patrón de marcadores moleculares de ADN, en lugar - o además - de los rasgos observables.

Pero hoy el fitomejorador, además de los cruzamientos y la selección asistida por marcadores, cuenta con herramientas basadas en la metodología del ADN recombinante o ingeniería genética para introducir características nuevas de una manera más precisa y eficiente. Así como la ingeniería genética se emplea para introducir genes en las bacterias para que produzcan insulina, también sirve para incorporar nuevos genes a las plantas con el fin de mejorar los cultivos. El empleo de la ingeniería genética o transgénesis en el mejoramiento vegetal es lo que se denomina agrobiotecnología o biotecnología vegetal,





y las plantas así obtenidas se denominan plantas transgénicas u organismos genéticamente modificados (OGM).

Esta nueva tecnología ofrece tres ventajas fundamentales con respecto a las técnicas convencionales de mejoramiento genético:

- Los genes que se van a incorporar pueden provenir de cualquier especie, emparentada o no (por ejemplo, un gen de una bacteria del suelo puede insertarse en el genoma del maíz).

- Se puede introducir un único gen nuevo preservando en su descendencia el resto de los genes de la planta original.

- El proceso de modificación demora mucho menos tiempo que el necesario para el mejoramiento por cruzamiento.

Para la producción de un cultivo transgénico deben cumplirse esencialmente tres etapas: introducción del gen de interés en las células vegetales (transformación); regeneración de la planta completa a partir de las células transformadas, y transferencia -por cruzamiento- de la característica deseada a variedades de alto rendimiento.

En cuanto a la transformación, existen básicamente dos métodos. Uno de ellos emplea una bacteria del suelo, *Agrobacterium tumefaciens* como vehículo del gen de interés, el cual es transferido de la bacteria a las células de la planta para finalmente integrarse en su genoma. Como método alternativo, se emplea el método denominado "biolística" o "bombardeo con micropartículas", que consiste en micropartículas de oro o de tungsteno recubiertas con el ADN, las que son aceleradas en un "cañón génico" para adquirir suficiente velocidad y poder penetrar en los tejidos. Ambos métodos pueden usarse para obtener plantas de maíz transgénico.

Los objetivos de la biotecnología vegetal son diversos e incluyen el mejoramiento de rasgos agronómicos, la obtención de mejores alimentos y el aprovechamiento de las plantas como bio-reactores o fábricas de moléculas. Así, podemos distinguir tres "olas" de cultivos transgénicos:

- **Primera ola:** se refiere a los cultivos transgénicos que se obtienen con el propósito de mejorar rasgos agronómicos, como ciertas características morfológicas; resistencia a plagas; tolerancia a herbicidas o tolerancia a condiciones ambientales extremas, como el frío y la sequía. Son ejemplos de la primera ola los cultivos que actualmente se comercializan en el mundo, entre los cuales podemos mencionar a la soja tolerante a herbicida, el maíz y algodón resistentes a insectos y la papaya resistente a virus.

- **Segunda ola:** corresponden a esta "ola" los cultivos transgénicos que generan alimentos más sanos y nutritivos que los convencionales. Son ejemplos el arroz con alto contenido de beta-carotenos; maíz con mayor contenido de lisina; papas con mayor contenido de almidón; maní hipoalergénico; batata con mayor contenido de proteínas, y soja con una composición de ácidos grasos más saludable.

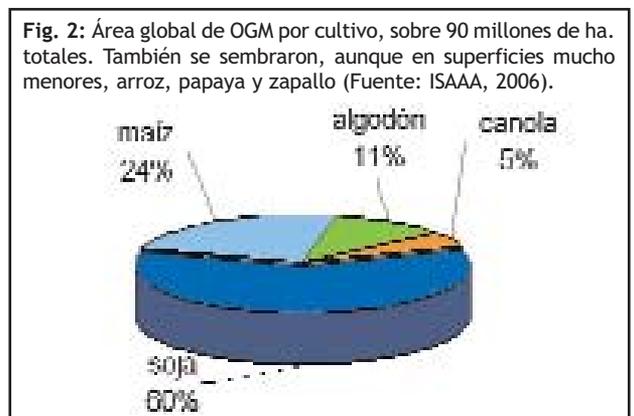
- **Tercera ola:** se refiere al empleo de los cultivos vegetales como biorreactores para la producción de fármacos, vacunas, biopolímeros y otras moléculas de interés industrial. También se incluyen en esta ola a las plantas modificadas genéticamente para remediar suelos contaminados (fitorremediación).

Maíz y otros cultivos transgénicos en el mundo

Las variedades transgénicas que se cultivan actualmente pertenecen a la primera ola de transgénicos, es decir, la modificación genética está relacionada con el mejoramiento de rasgos agronómicos. Según el último informe del ISAAA (Servicio para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas), en 2005 se sembraron en todo el mundo 90 millones de hectáreas con cultivos transgénicos, un 11% más que en 2004. Fueron 21 los países que sembraron estos cultivos, aunque el 98% del área global se concentró en sólo ocho: Estados Unidos, Argentina, Brasil, Canadá, China, Paraguay, India y Sudáfrica (Fig. 1).

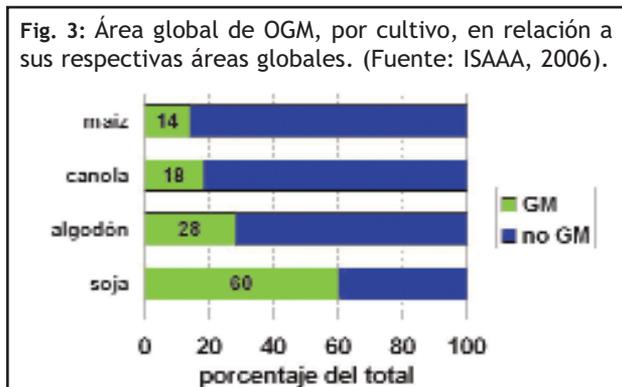
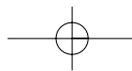


El 60% de las 90 millones de hectáreas correspondieron a soja; el 24% a maíz; el 11% a algodón, y el 5% restante a canola. También se sembraron, aunque en superficies mucho menores, arroz, zapallo y papaya transgénicas (Fig. 2).



Las características incorporadas fueron la tolerancia a herbicida (soja, maíz, algodón y canola), la resistencia a insectos (maíz, algodón y arroz), o ambas características juntas (maíz y algodón). Los cultivos resistentes a virus (papaya y zapallo) constituyeron menos del 1%. Según ISAAA, el 14% de la superficie global de maíz fue sembrada con maíz genéticamente modificado (Fig. 3), la mayor parte del tipo Bt (resistente a insectos, ver recuadro aparte), y en menor





medida, del tipo RR (tolerante a herbicida, ver recuadro aparte).

Maíz tolerante a glifosato o RR

El crecimiento de las malezas disminuye drásticamente el rendimiento y la calidad de los cultivos. Muchos herbicidas sirven para un determinado tipo de malezas y suelen dejar residuos que permanecen en el suelo por años. El empleo de cultivos tolerantes al herbicida glifosato resuelve estos problemas, ya que este herbicida es de amplio espectro (es decir, elimina a todas las plantas, excepto a aquellas tolerantes al glifosato) y es de menor efecto residual que los herbicidas tradicionales.

En las plantas, la enzima 3-enolpiruvil-shiquimato-5-fosfato sintasa (EPSPS) es clave en las rutas metabólicas que llevan a la producción de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptofano). Esta enzima sólo está presente en plantas y microorganismos, tales como bacterias y hongos, y ausente en animales y humanos. En la década de 1970 se descubrió que el glifosato podía inhibir a la enzima EPSPS, impidiendo la producción de aminoácidos aromáticos. Los aminoácidos son esenciales para la síntesis proteica y las proteínas son necesarias para el crecimiento y las funciones vitales, por lo tanto, la aplicación del glifosato lleva a la muerte de la planta.

Las plantas tolerantes a glifosato tienen el gen EPSPS de la cepa CP4 de la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens*. Como la enzima EPSPS producida en esta cepa bacteriana no es afectada por el glifosato, su introducción en el genoma de las plantas las vuelve tolerantes al herbicida. El nombre comercial del glifosato es "Roundup", por este motivo, quienes desarrollaron esta tecnología denominaron a los cultivos tolerantes al glifosato con el nombre de "Roundup Ready", o RR. En la Argentina se cultivan soja, maíz y algodón tolerantes a glifosato. En la última campaña (2005/2006) se sembraron unas 70 mil hectáreas de maíz RR.

Maíz resistente a insectos o Bt

El barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*, Fig. 4) es un insecto que constituye la principal plaga de los cultivos de maíz en nuestro país. Sus larvas se alimentan principalmente de las hojas y los tallos, aunque pueden afectar a la espiga, dejando galerías que dañan la planta, la quiebran, e impiden el transporte de nutrientes. Además, estas galerías son la puerta de

entrada para hongos, cuyas toxinas (micotoxinas) son muy peligrosas para la salud humana y animal.

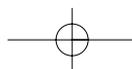
La denominación Bt deriva de *Bacillus thuringiensis*, una bacteria que normalmente habita el suelo y cuyas esporas contienen proteínas tóxicas para ciertos insectos. Estas proteínas, denominadas Cry, se activan en el sistema digestivo del insecto y se adhieren a su epitelio intestinal, alterando el equilibrio osmótico del intestino. Esto provoca la parálisis del sistema digestivo del insecto el cual deja de alimentarse y muere a los pocos días. Las toxinas Cry son inocuas para mamíferos, pájaros e insectos "no blanco". Hay varias proteínas Cry (y por lo tanto diferentes genes cry) y cada una es específica para un orden de insectos. El maíz Bt es un maíz transgénico que produce en sus tejidos proteínas Cry. Así, cuando las larvas del barrenador del tallo intentan alimentarse de la hoja o del tallo del maíz Bt, mueren. Los beneficios que presenta el maíz Bt se centran en la posibilidad que tiene el agricultor de cultivarlo sin emplear insecticidas, lo que constituye, además, un beneficio directo para el medio ambiente. Actualmente, alrededor del 65% del maíz cultivado en Argentina es maíz Bt.

Maíz y otros cultivos transgénicos en la Argentina

La tasa de adopción de cultivos transgénicos es una de las más altas en lo que se refiere a la incorporación de tecnologías al sector agropecuario argentino. Tal adopción refleja la satisfacción del productor al emplear los productos de la biotecnología que le permiten, además de disminuir los costos, mayor flexibilidad en el manejo de los cultivos, disminución en el uso de insecticidas, mayores rendimientos y mejor calidad.



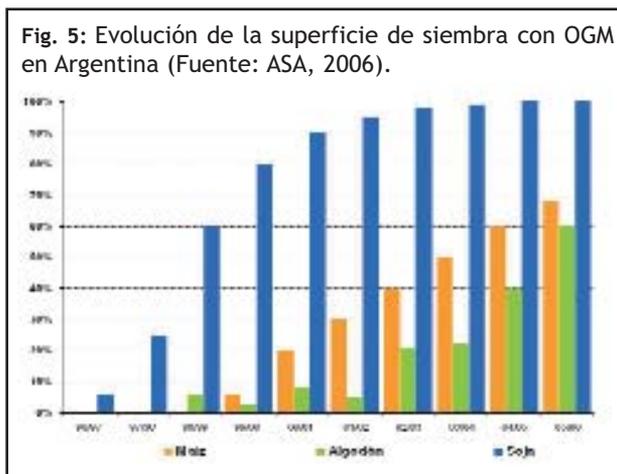
Fig. 4: Larvas del insecto barrenador del tallo en tallo (arriba) y en espiga (abajo).





Con 17,1 millones de hectáreas de transgénicos (6% más que en 2004), la Argentina se posiciona como el segundo país productor de OGM, después de Estados Unidos. Como puede observarse en la Figura 5, en la campaña 2005/2006, casi el 100% de la superficie sembrada con soja fue sembrada con soja tolerante a glifosato, mientras que los maíces Bt y RR ocuparon alrededor del 65% y el 3% del área cultivada con maíz, respectivamente. El algodón transgénico (en su mayor parte RR) representó el 60% del total del cultivo.

Fig. 5: Evolución de la superficie de siembra con OGM en Argentina (Fuente: ASA, 2006).



La autorización para la comercialización de un cultivo transgénico en Argentina está a cargo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA), y se basa en los informes elaborados por sus comisiones asesoras:

- La Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA).
- El Comité Técnico Asesor sobre uso de Organismos Genéticamente Modificados del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa).
- La Dirección Nacional de Mercados Agroalimentarios.

La CONABIA evalúa los posibles riesgos que puede causar la introducción del cultivo transgénico en los agroecosistemas. Esta evaluación ocurre en dos etapas. Durante la primera, la CONABIA determina si el cultivo transgénico puede o no ensayarse en condiciones experimentales en el campo (condiciones de confinamiento). Durante la segunda, que transcurre después de tales ensayos, la CONABIA evalúa la posibilidad de que el cultivo transgénico se siembre en gran escala (no confinado). Como resultado final, autoriza la liberación del cultivo transgénico para su siembra a escala comercial.

El Comité Técnico Asesor sobre uso de OGM del SENASA evalúa los riesgos potenciales para la salud animal y humana derivados del consumo, como alimento, del cultivo transgénico o sus subproductos. Estudia la presencia de tóxicos, alérgenos y de posibles

modificaciones nutricionales que se podrían haber introducido por la transformación genética.

Con un informe favorable de la CONABIA y del Comité Técnico Asesor sobre uso de OGM del SENASA, la Dirección Nacional de Mercados Agroalimentarios determina la conveniencia de la comercialización del material genéticamente modificado de manera de evitar potenciales impactos negativos en las exportaciones argentinas.

La tabla 1 muestra los eventos aprobados en la Argentina para su siembra, consumo y comercialización. El término "evento" se refiere a la construcción de ADN insertada, que incluye a los genes de interés, los elementos que controlan su expresión, los genes marcadores de selección y otras secuencias de ADN. Hay siete eventos de maíz aprobados: 176; T25; MON810; Bt11; NK603; TC1507, y GA21. De éstos, 176, MON810 y Bt11 son maíces Bt; T25 es un evento que otorga tolerancia al herbicida glufosinato de amonio; NK603 y GA21 son tolerantes a glifosato, y TC1507 le confiere al maíz la resistencia a lepidópteros y la tolerancia al glufosinato de amonio al mismo tiempo.

Próximos pasos en el mejoramiento del maíz por biotecnología

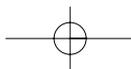
Actualmente se están ensayando en la Argentina otros eventos de maíz genéticamente modificado. Varios corresponden a nuevos maíces Bt que controlan mejor las plagas, o bien a maíces donde la característica de resistencia a insectos y la tolerancia a glifosato se expresan en la misma planta.

Vale la pena destacar el desarrollo de cultivos resistentes a una enfermedad del maíz propia de nuestro país, el Mal de Río Cuarto, causada por el virus MRCV (Mal de Río Cuarto virus). Aún no se ha podido conseguir resistencia a esta enfermedad por mejoramiento convencional, por eso un grupo del INTA Castelar decidió abordar el problema por ingeniería genética, desarrollando plantas de maíz resistentes al MRCV. La estrategia elegida fue la llamada "silenciamiento post transcripcional", por el cual se inserta en el genoma de la planta una secuencia particular del material genético del virus con el fin de "inmunizarla". De esta manera, la planta transgénica resulta resistente a la infección por MRCV.

El INTA Castelar está trabajando además en otros proyectos que aún se encuentran en las etapas

Tabla 1. Eventos aprobados en Argentina			
Cultivo	Característica introducida	Evento	Año
Soja	tolerancia al herbicida glifosato	40-3-2	1996
Maíz	resistencia a insectos lepidópteros	176	1998
Maíz	tolerancia al herbicida glufosinato de amonio	T25	1998
Algodón	resistencia a lepidópteros	MON531	1998
Maíz	resistencia a insectos lepidópteros	MON810	1998
Algodón	tolerancia al herbicida glifosato	MON 1445	2001
Maíz	resistencia a lepidópteros	BL11	2001
Maíz	tolerancia a glifosato	NK603	2004
Maíz	resistencia a insectos lepidópteros y tolerancia al herbicida glufosinato de amonio	TC1507	2005
Maíz	tolerancia a glifosato	GA21	2005





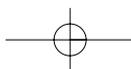
de experimentación en laboratorio, entre los que cabe mencionar el empleo de un maíz transgénico como vacuna comestible que permita prevenir la enfermedad de Newcastle en aves de corral, y la generación de maíces tolerantes a bajas temperaturas. Este último objetivo, junto con la obtención de maíces tolerantes a sequía y a alta salinidad, constituyen los mayores desafíos para el mejoramiento de las características agronómicas del maíz, no sólo en la Argentina sino también a nivel mundial. Estas mejoras permitirían sembrar maíz más allá de las áreas tradicionales, ampliaría el período de siembra y reduciría el consumo de agua para riego.

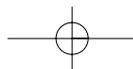
Con respecto al mejoramiento nutricional del maíz por ingeniería genética, están ensayándose a campo, incluso en Argentina, maíces con alto contenido del aminoácido esencial lisina. Este maíz fortificado por ingeniería genética fue diseñado para aumentar el valor nutricional del grano destinado a la alimentación animal, ya que el maíz es deficiente en lisina y generalmente debe suplementarse con este

aminoácido obtenido de otras fuentes. Otros desarrollos, también dirigidos a la alimentación animal, incluyen maíces más digeribles, con mayor cantidad de proteína, con mayor contenido de aceite y cuyos aceites contienen más vitamina E.

Fuentes consultadas

AgBios (Agriculture y Biotechnology Strategies): www.agbios.org
ArgenBio (Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología): www.argenbio.org
Asociación Semilleros Argentinos: www.asa.org.ar
Biotecnología y mejoramiento vegetal, 2004. Eds. Viviana Echenique, Clara Rubinstein, Luis Mroginski, Ediciones INTA, Buenos Aires.
FAOSTAT: <http://faostat.fao.org/faostat/>
INTA: www.inta.gov.ar
ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications): www.isaaa.org
Monsanto: www.monsanto.com
Pioneer: www.pioneer.com
Plants, Genes and Crop Biotechnology. 2003. M Chrispeels y D Sadava. Jones and Bartlett Publishers.
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos: www.sagpya.gov.ar





A P E N D I C E

Acerca de los autores

Ing. Agr. Juan R. E. Gear

Es ingeniero agrónomo (UBA) y desde el año 2005 preside la Asociación Maíz Argentino -MAIZAR-. Desde el año 1971 preside la firma GEAR S.A., empresa fundada en el año 1922, dedicada a la producción de semillas y a la comercialización, producción, acopio y exportación de cereales. Entre otras actividades, se desempeñó como Director de la Asociación Semilleros Argentinos -1969/1972-, Director de la Junta Nacional de Granos -1989/1991-, Cónsul del GAFTA (Grain and Feed Trade Association, London) -1994/hoy-, Presidente de la Sociedad de Cerealistas del Norte de la provincia de Buenos Aires -1994/1999-, Vicepresidente del Centro de Exportadores de Cereales -2001/2002-, Consejero de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires -2000/2001-, Miembro del Panel de Comercio Internacional del GAFTA -1996/hoy.

Ing. Anibal Horacio Alvarez

Es Ingeniero Industrial UBA (1970). Desde hace 20 años se encuentra a cargo de la Gerencia de CAFAGDA, la Cámara que nuclea a la molienda húmeda de cereales de la Argentina. En este período ha desarrollado actividades relacionadas con dicho sector industrial en los campos comercial, técnico y de gestión. En lo relacionado con el maíz, viene trabajando con especial énfasis en las áreas de micotoxinas, transgénicos y calidad de grano, actuando en comisiones asesoras y en congresos y participando en instituciones relacionadas.

Dr. Gustavo J. Depetris

Es Médico Veterinario Ms Sci. Becario de INTA. TEMA: "Mejoramiento de la calidad de la carne vacuna con énfasis en su valor nutracéutico. Ingreso: 1 de octubre de 2002 hasta diciembre 2004. Técnico del Área de Investigación en Producción Animal. Estación Experimental INTA Balcarce, Argentina. Especialidad: nutrición, metabolismo y calidad de producto.

Participación en los siguientes proyectos:

- * PROYECTO NACIONAL N° 520102: Mejoramiento de la calidad de la carne vacuna producida en sistemas intensificados con énfasis en su valor nutracéutico." Institución: INTA
- * BID 1201/OC-AR PICT 2000/1 N°08-08932. Mejoramiento del valor nutracéutico de la carne vacuna producida en sistemas pastoriles intensificados." Institución: SECyT
- * PROYECTO AGR 158/03. Estrategia de alimentación para optimizar la productividad del par vaca ternero en sistemas con parición otoñal. Universidad Nacional de Mar del Plata.

Dr. Nestor Osvaldo Cortamira

Ingeniero Agrónomo, (UBA), Docteur en Sciences Biologiques, Univ. RENNES I Francia. Investigador en Nutrición animal en EEA INTA-Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Jurado FAUBA, FCV-UBA y FA del Uruguay. Consultor de la Unión Europea. Miembro de la American Society of Animal Science. Responsable científico del INTA en nutrición porcina: triptofano, *Datura ferox* en harinas de soja, aditivos para lechones, tratamiento y usos de residuos, desarrollo de harinas de girasol de monogástricos, maíces Diferenciados. Autor de 20 publicaciones nacionales y 19 publicaciones internacionales.

Dra. María Luz Pita Martín de Portela

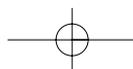
Dra. en Farmacia y Bioquímica. Profesora Titular Consulta de Nutrición, Facultad de Farmacia y Bioquímica (Universidad de Buenos Aires). A cargo de la dirección y dictado de Nutrición en las carreras: Licenciatura en Tecnología de Alimentos, Licenciatura en Gestión de Agroalimentos e Ingeniería en Alimentos (UBA). Directora de proyectos de investigación acreditados (UBA y Ministerio de Educación) sobre requerimientos y evaluación nutricional de minerales y vitaminas.- Autora de tres libros para texto de nutrición y más de 70 trabajos en revistas nacionales e internacionales.

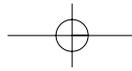
Ing. Federico Vartorelli

Ingeniero Agrónomo recibido en la Universidad de Buenos Aires. Ph.D. en Plant Breeding and Genetics, título obtenido en la Universidad de Nebraska, USA. Actualmente Breeder de Maíz en Monsanto Argentina, desempeñó tareas como Gerente Técnico de Rennes Argentina (2003-2005) e Investigador Asistente de la Universidad de Nebraska (2000-2003).

Dra. Margarita Olivera Carrión

Doctora en Ciencias Químicas (UBA). Especialización: Alimentos Funcionales, Rotulado Nutricional, Legislación Alimentaria. Profesora de Bromatología, Facultad Farmacia y Bioquímica (UBA). Responsable de Legislación Alimentaria y Prácticas Profesionales, Licenciatura Ciencias y Tecnología de Alimentos. Actual Presidente Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios (AATA). Previamente fue coordinadora del Comité Científico. Profesora invitada en Maestrías de Tecnología de Alimentos: 1) Universidad del Salvador - IRAM - INTA. Temas: Alimentos Funcionales, Alimentos para Regímenes Especiales. 2) Universidad Tecnológica Nacional, responsable durante seis años de Química de Alimentos y Bromatología.



**Dra. Martha Melgarejo**

Licenciada en Ciencias Químicas con especialización en Tecnologías, UNLP. Dedicación a desarrollo de formulaciones y tecnologías de producción de alimentos, con profundización en oleaginosos y derivados en la actividad privada. Es socio fundador de ASAGA, Asociación Argentina de Grasas y Aceites y staff de su publicación *Aceites y Grasas*. Publicó trabajos en *Aceites y Grasas* y en el *Journal of American Oil Chemical Society* referidos a investigaciones en aceites y grasas. Estudiosa de la alimentación en la América Precolombina.

Dr. Hector M. Godoy

Doctor en Ciencias Químicas (UBA). Especialización en investigación toxicológica en el CEITOX (CITEFA/CONICET) y en el Consejo de Investigaciones Médicas de Gran Bretaña. Profesor de "Toxicología de alimentos" en Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) (1979-2001). Profesor invitado en las Universidades Nacionales de Entre Ríos, La Plata, Río Cuarto, Rosario, del Sur, Tucumán y Salta. Es Investigador de la Provincia de Buenos Aires y Director del Laboratorio de Toxicología del Instituto de Patobiología de INTA Castelar. Ha publicado numerosos trabajos de investigación en revistas científicas internacionales.

Dr. Guillermo H. Eyherabide

Ingeniero Agrónomo (UBA), obtuvo la Maestría en la UNR y el Doctorado en Iowa State University. Es especialista del INTA en mejoramiento genético, autor de numerosas publicaciones científicas y disertante invitado en simposios internacionales de su especialidad. Posee antecedentes de docencia y dirección de tesis de postgrado. Fue Director de la Estación Experimental INTA Pergamino. Actualmente es Coordinador del Programa Nacional de Cereales. Integra el Comité Asesor de Cereales de Verano del INASE y los comités científicos de varias revistas científicas. Es Consejero Titular de MAIZAR.

Ing. Francisco José Santini

Ingeniero Agrónomo (1974) (FCA-UNMdP); Master of Science (1975) y PhD (1981) Madison Wisconsin (USA). Desarrolla actividades de investigación en el tema de digestión de forrajes frescos y su interacción con suplementos y en sistemas de producción de carne intensificados en pastoreo y feedlot. Profesor Titular de la Cátedra de Producción Lechera y Profesor de la Escuela de Post-Grado de la Unidad Integrada de Balcarce, ha dirigido más de 40 tesis de pre y posgrado. Ha publicado más de cien trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales.

Dra. Gabriela Levitus

Bióloga y Doctora en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA. Ex-investigadora del CONICET. Docente del Departamento de Fisiología y Biología Molecular y Celular de esa facultad, y de la carrera de Tecnología Alimentaria de los Institutos de Tecnología ORT. Actualmente también es la Directora Ejecutiva del Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (ArgenBio). Como parte de esta función, coordina el programa educativo *Por Qué Biotecnología*.

Dra. Sofía Chulze

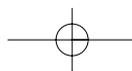
Dra. en Ciencias Biológicas Profesora Titular Efectiva, Departamento de Microbiología e Inmunología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Investigadora Independiente del CONICET. Ha publicado más de 50 trabajos relacionados a micología y micotoxicología y presentado más de 100 comunicaciones en reuniones científicas a nivel nacional e internacional. Miembro fundador de la Sociedad Internacional de Micotoxicología, Miembro de la Sociedad Latinoamericana de Micotoxicología, Asociación Argentina de Microbiología, British Mycological Society.

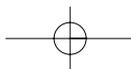
Ing. Gerardo Gagliostro

Ingeniero Agrónomo, M.Sci, Ph. D. Jefe del Grupo Nutrición y Metabolismo de Rumiantes (INTA EEA Balcarce). Cuenta con numerosas publicaciones en revistas con referato. Ha recibido dos subsidios para investigación de la International Foundation for Science (Suecia) y dos de la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica, y una reciente "Mención Especial por la Calidad y Pertinencia", otorgada por el Programa de Apoyo al Desarrollo Científico Tecnológico DUPONT-CONICET 2005, por el proyecto "Obtención de lácteos funcionales con alto nivel de ácido linoleico conjugado (CLA) y ácidos omega 3 (w-3) para su comercialización en el mercado nacional y de exportación." Fue Editor Principal de la *Revista Argentina de Producción Animal* (período 1997-2001).

Dr. Laerte Moraes

Es veterinario recibido en la Universidad de São Paulo - Brasil en 1990, con especialización en Gestión del Agronegocio por la Universidad Federal de São Carlos - Brasil. Es Gerente de Desarrollo de negocios de Agribands Purina do Brasil, para la línea de premixes para aves y cerdos. En el período 2002- 2005 estuvo a cargo de la Gerencia Técnica para América Latina de Renessen, trabajando directamente con clientes de diversos países: Brasil, Argentina, Chile, Perú, Colombia y Ecuador.





Agradecimientos

Queremos agradecer en primer lugar a los miembros de MAIZAR, y particularmente a su Presidente, Juan R. E. Gear, y a su Director Ejecutivo, Ing Martín Fraguio. Esta institución ha hecho posible esta publicación y ha participado activamente de su desarrollo.

Al Ing. Juan Carlos Batista, Director de Calidad Agroalimentaria de SENASA, por sus consejos y constante apoyo en nuestros emprendimientos académicos.

Al Sr. Patricio Pettigrew y a la Lic. María Gabriela Casale, por su colaboración en la recopilación inicial de datos de composición.

A la Ing. Carla Cecchin, por su invaluable aporte en la recopilación, contacto con los especialistas y edición de este Informe.

Al Ing. José María Bruniard por su colaboración en la revisión de una parte de este trabajo.

Al Sr. Néstor Galibert de Editorial Publitec, por haber colaborado estrechamente con nosotros y por su excelente trabajo.

A todos los autores de los trabajos, por su tiempo y conocimientos.

A los miembros de ILSI Argentina y a su personal.

