



El maiz en la nutrición humana

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Roma, 1993

[Indice](#)

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Catalogación antes de la publicación de la Biblioteca David Lubin FAO, Roma (Italia)

25/10/2011

El maíz en la nutrición hu...

El maíz en la nutrición humana

(Colección FAO: Alimentación y nutrición, Nº25)

ISBN 92-5-303013-5

1 . Maíz 2. Nutrición humana

I. Título II. Serie

Código FAO: 86 AGRIS: S01

Derechos de autor

Por este medio se autoriza la reproducción digital o impresa parcial o total de este trabajo, para su utilización personal o en las aulas, sin costo y sin solicitud formal de reproducción, siempre que no se elaboren copias con fines de lucro ni comerciales, y que todas las copias lleven este aviso completo en la primera página. Los derechos de autor de los trabajos que no sean propiedad de la FAO deben respetarse. Para hacer reproducciones con otros fines, publicar, enviar a través de los servidores o redistribuir en las listas, se requiere autorización específica previa y el pago de una cuota cuando sea pertinente.

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Los permisos de publicación se solicitan a:

Editor en Jefe

FAO, Viale delle Terme di Caracalla

00100 Roma, Italia

correo electrónico: copyright@fao.org

(c) FAO 1993

Indice

[Prefacio](#)

[Capítulo 1 Introducción](#)

[Tipos de maíz](#)

[Origen del maíz](#)

[La planta del maíz](#)

[Estructura del grano de maíz](#)

[Produccion mundial](#)

[Aplicaciones del maíz](#)

[Capitulo 2 Composición química y valor nutritivo del maíz](#)

[Composición química de las partes del grano](#)

[Composición química general](#)

[Valor nutritivo del maíz](#)

[Capitulo 3 Tecnología postcosecha: la preelaboración](#)

[El secado](#)

[Almacenamiento](#)

[Clasificación de la calidad del grano](#)

[Capitulo 4 Tecnología postcosecha: la elaboración](#)

[Modalidades de consumo del maíz](#)

[Elaboración del maíz integral: cocción en agua de cal](#)

[Preparacion del ogi y otros productos de maiz fermentado](#)

[Preparación de arepas](#)

[Otras preparaciones a base de maiz](#)

[Molienda](#)

[Capitulo 5 Cambios físicos y químicos durante la elaboración](#)

[Maíz tratado con cal](#)

[El ogi y otros productos de maíz fermentado](#)

[Arepas](#)

[Otros productos obtenidos con molienda en seco y cambios químicos](#)

[Capitulo 6 Comparación del valor nutritivo del maíz común y del maíz con proteínas de calidad](#)

[Consumo de maiz](#)

[Maíz comun](#)

[Maíz con proteínas de alta calidad nidos](#)

[Valor biologico de las proteinas del maíz común y del MPC](#)

[Capitulo 7 Cómo mejorar el valor nutritivo del maíz](#)

[Metodos geneticos](#)

[Elaboracion](#)

[Enriquecimiento](#)

[Capitulo 8 Mejora de las dietas a base de maíz](#)

[Consumo de maíz y legumbres](#)

[Nutrientes limitantes de la dieta a base de maíz y frijoles](#)

[Mejora de la dieta a base de maíz y legumbres](#)

[Bibliografía](#)

[Bibliografía complementaria](#)

[Where to purchase FAO publications locally/Puntos de venta de publicaciones de la FAO](#)

Prefacio

[Indice](#) - [Siguiete](#)

En el curso de los años, la FAO ha publicado diversos estudios sobre nutrición. Uno de ellos, El maiz: en la alimentación, aparecido en 1953, versaba sobre el valor nutritivo del maíz, exponiendo los datos y conocimientos que se tenían hasta esa fecha. Desde entonces, han aumentado considerablemente los datos disponibles gracias a investigaciones sobre selección, elaboración, consumo y mejora de la calidad nutritiva del maíz.

Se requiere, por tanto, revisar y actualizar la antigua edición a fin de incluir estos nuevos datos, y la FAO ha decidido publicar la nueva versión con otro título, El maíz en la nutrición humana, orientándola hacia lectores con mayores conocimientos técnicos.

En esta edición se dedica más espacio a la composición química del maíz y la

estructura de las proteínas y las fibras dietéticas del cereal; a la calidad y el almacenamiento del grano y los efectos de la coacción alcalina del maíz, y a la preparación de alimentos como tortillas, arepas y oji. Se analizan pruebas recogidas sobre la relación entre el consumo de maíz, la niacina ligada y la pelagra, y se destacan las deficiencias de aminoácidos del maíz y los resultados de experimentos llevados a cabo con seres humanos y con animales. También se examina la importancia que tiene el aumento de la calidad proteica del maíz mediante la introducción del gen opaco-2 y su probable contribución a la mejora de la dieta de las poblaciones que consumen maíz, y se propugna la producción comercial de maíz con proteínas de elevada calidad (MPC). Por último, se explica con información actualizada cómo mejorar las dietas a base de maíz conforme al antiguo principio de la nutrición: consumir una dieta equilibrada consistente en legumbres, proteínas animales, frutas y hortalizas.

La FAO agradece el aporte del profesor R. Bressani, del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, quien ha revisado y vuelto a escribir en buena medida el libro, con la asistencia técnica de la Sra. Maria Antonieta Rottman. El Dr. M.A. Hussain, oficial encargado del Servicio de Programas de Nutrición de la Dirección de Política Alimentaria y Nutrición, ha llevado a cabo la revisión técnica y la preparación del manuscrito definitivo. Otros funcionarios de esa Dirección y de las

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Direcciones de Producción y Protección Vegetal y de Servicios Agrícolas formularon asimismo valiosas sugerencias.

Este libro está destinado a especialistas en nutrición, agrónomos, científicos especializados en alimentación, dietistas y otras personas que se ocupan del maíz. Se espera que encuentren esta publicación útil y valiosa.

Paul Lunven

Director

Dirección de Política Alimentaria y Nutrición

[Indice](#) - [Siguiete](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Capitulo 1 Introducci

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiete](#)

Tipos de maiz

Maíz, palabra de origen indio caribeño, significa literalmente lo que sustenta la vida. El maíz, que es junto con el trigo y el arroz uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible. La planta tierna, empleada como forraje, se ha utilizado con gran éxito en las industrias lácteas y cárnicas y, tras la recolección del grano, las hojas secas y la parte superior, incluidas las flores, aún se utilizan hoy en día como forraje de calidad relativamente buena para alimentar a los rumiantes de muchos pequeños agricultores de los países en desarrollo. Los tallos erectos, que en algunas variedades son resistentes, se utilizan para construir cercas y muros duraderos.

Botánicamente, el maíz (Zea mays) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta. Las panojas -a menudo, una por tallo- son las estructuras donde se

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

desarrolla el grano, en un número variable de hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1 000 granos, que pesan entre 190 y 300 g por cada 1 000 granos. El peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El grano constituye aproximadamente el 42 por ciento del peso en seco de la planta. El maíz es a menudo de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él.

Las variedades cultivadas fundamentalmente para alimentación comprenden el maíz dulce y el reventador, aunque también se usan en buena medida el maíz dentado, el amiláceo o harinoso y el cristalino; este último también se utiliza para pienso. El maíz normal inmaduro en la panoja es objeto de gran consumo, hervido o tostado. El maíz harinoso es un grano con endospermo blando que se emplea mucho como alimento en México, Guatemala y los países andinos. El maíz de tipo dentado tiene un endospermo calloso y vitreo a los lados y en la parte posterior del grano, en tanto que el núcleo central es blando. El maíz de tipo cristalino posee un endospermo grueso, duro y vitreo, que encierra un centro pequeño, granuloso y amiláceo.

Origen del maiz

El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta el Canadá y hacia el sur hasta la Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. Este cereal era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz. La supervivencia del maíz más antiguo y su difusión se debió a los seres humanos, quienes recogieron las semillas para posteriormente plantarlas. A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del Mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional. Mangelsdorf y Reeves (1939) han hecho notar que el maíz se cultiva en todas las regiones del mundo aptas para actividades agrícolas y que se recoge en algún lugar del planeta todos los meses del año. Crece desde los 58° de latitud norte en el Canadá y Rusia hasta los 40° de latitud sur en el hemisferio meridional. Se cultiva en regiones por debajo del nivel del mar en la llanura del Caspio y a más de 4 000 metros de altura en los Andes peruanos.

Pese a la gran diversidad de sus formas, al parecer todos los tipos principales de maíz conocidos hoy en día, clasificados como *Zea mays*, eran cultivados ya por las poblaciones autóctonas cuando se descubrió el continente americano. Por otro lado, los indicios recogidos mediante estudios de botánica, genética y citología apuntan a un antecesor común de todos los tipos existentes de maíz. La mayoría de los investigadores creen que este cereal se desarrolló a partir del teosinte, *Euchlaena mexicana* Schrod, cultivo anual que posiblemente sea el más cercano al maíz. Otros creen, en cambio, que se originó a partir de un maíz silvestre, hoy en día desaparecido. La tesis de la proximidad entre el teosinte y el maíz se basa en que ambos tienen 10 cromosomas y son homólogos o parcialmente homólogos.

Ha habido introgresión (retrocruzamiento reiterado) entre el teosinte y el maíz y sigue habiéndola hoy en día en algunas zonas de México y Guatemala donde el teosinte puede crecer en los cultivos de maíz. Galinat (1977) señala que siguen siendo viables esencialmente dos de las diversas hipótesis sobre el origen del maíz: la primera es que el teosinte actual es el antecesor silvestre del maíz, y/o un tipo primitivo de teosinte es el antecesor silvestre común del maíz y del teosinte; la segunda es que una forma desaparecida de maíz tunicado fue el antecesor del maíz, y el teosinte fue, en cambio, una forma mutante de dicho

grano tunicado.

En cualquier caso, la mayoría de las variedades modernas del maíz proceden de material obtenido en el sur de los Estados Unidos, México y América Central y del Sur.

La planta del maiz

Se puede definir la planta del maíz como un sistema metabólico cuyo producto final es, en lo fundamental, almidón depositado en unos órganos especializados: los granos.

El desarrollo de la planta se puede dividir en dos fases fisiológicas. En la primera, o fase vegetativa, se desarrollan y diferencian distintos tejidos hasta que aparecen las estructuras florales. La fase vegetativa consta de dos ciclos. En el primero se forman las primeras hojas y el desarrollo es ascendente; en este ciclo, la producción de materia seca es lenta y finaliza con la diferenciación tisular de los órganos de reproducción. En el segundo ciclo se desarrollan las hojas y los órganos de reproducción; este ciclo acaba con la emisión de los estigmas.

La segunda fase, también llamada fase de reproducción, se inicia con la fertilización de las estructuras femeninas que se diferenciarán en espigas y granos. La etapa inicial de esta fase se caracteriza por el incremento de peso de las hojas y otras partes de la flor; durante la segunda etapa, el peso de los granos aumenta con rapidez (Tanaka y Yamaguchi, 1972).

La planta desarrolla características y diferencias morfológicas en las fases vegetativa y de reproducción como consecuencia, en el terreno de la evolución, de la selección natural y de la domesticación. Algunos genotipos se han adaptado a zonas ecológicas concretas, desarrollando características particulares, como por ejemplo la sensibilidad con respecto a la duración del día y a la temperatura, que limitan su adaptabilidad a zonas con diferente latitud y altitud. Por tanto, se deben realizar programas de mejora en las zonas en que se van a cultivar las variedades mejoradas, aunque esto no significa, empero, que se puedan obtener características genéticas específicas mediante retrocruzamiento.

La morfología o arquitectura de la planta también ha sido objeto de presiones de evolución que han dado lugar a una gran variabilidad del número, la longitud y la anchura de las hojas, así como de la altura de las plantas, los lugares en que aparecen las mazorcas, el número de éstas por planta, los ciclos de maduración,

los tipos de granos y el número de hileras de granos, entre otras muchas características.

Esta variabilidad es de gran valor para mejorar la productividad de la planta y determinados elementos orgánicos del grano. Los principales factores del rendimiento son el número y el peso de los granos, y vienen determinados por factores genéticos cuantitativos que se pueden seleccionar con relativa facilidad. El número de granos está determinado por el número de hileras y el número de granos por hilera de la mazorca. El tamaño y la forma del grano determinan su peso, asumiendo constantes factores como la textura y la densidad de los granos. La relación entre el peso del grano y el peso total de la planta es, en la mayoría de las variedades de maíz, de aproximadamente 0,52. De 100 kg de panojas se obtienen unos 18 kg de granos. Una hectárea de maíz produce cerca de 1,55 toneladas de residuos de tallos. En plantas de maíz secadas sobre el terreno de tres localidades de Guatemala, el peso en seco de las plantas variaba entre 220 y 314 g con las siguientes proporciones: 1,8 por ciento de flores secas, de 14,7 por ciento a 27,8 por ciento de tallos y de 7,4 por ciento a 15,9 por ciento de hojas. Las envolturas de las mazorcas representaban del 11,7 por ciento al 13 por ciento, los carozos del 9,7 por ciento al 11,5 por ciento y el grano secado sobre el terreno del 30 por ciento al 55,9 por ciento del peso total en seco de la planta. Estas cifras

muestran la importancia del volumen de residuos de la planta que a menudo se dejan en el terreno; pese a todo, su distribución puede variar, pues se sabe que cerca de la mitad de la materia seca está constituida por grano y la otra mitad por residuos de la planta, con exclusión de las raíces (Barbar, 1979).

Estructura del grano de maiz

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1 000 granos según el número de hileras y el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las panojas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o, más a menudo, mecánicamente.

El grano de maíz se denomina en botánica cariopside o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla, como se ve en la Figura 1 ([FIGURA.1.Estructura del grano de maíz: corte longitudinal](#))

[aumentado aproximadamente 30 veces](#)). En la figura se muestran también las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cascara, o salvado; el endospermo; el germen o embrión; y la piloriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo). Wolf et al. (1952) y Wolf, Koo y Seckinger (1969) han descrito adecuadamente la anatomía general y la estructura microscópica de estos elementos anatómicos. También han estudiado la estructura del maíz opaco-2 mejorado y han determinado que se diferencia del común en lo tocante al endospermo: su matriz proteica es más delgada y presenta menos y más pequeños cuerpos proteicas, pues en el maíz opaco-2 se da una limitación de la síntesis de zeína. Robutti, Hoseny y Deyoe (1974) y Robutti, Hoseny y Wasson (1974) han estudiado la distribución proteica, el contenido de aminoácidos y la estructura del endospermo del maíz opaco-2.

CUADRO 1

Distribución ponderal de las principales partes del grano

Estructura	Porcentaje de distribución ponderal
Pericarpio	5-6

Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

La distribución ponderal de las distintas partes del grano se indica en el Cuadro 1. Al endospermo, la parte de mayor tamaño, corresponde cerca del 83 por ciento del peso del grano, en tanto que el germen equivale por término medio al 11 por ciento y el pericarpio al 5 por ciento. El resto está constituido por la piloriza, estructura cónica que junto con el pedicelo une el grano a la espiga. En el Cuadro 2 se muestra la distribución ponderal y del nitrógeno entre las partes anatómicas de variedades de granos comunes y seleccionados, como el maíz con elevado contenido de aceite y con elevado contenido de proteínas así como de tres variedades seleccionadas del cereal con proteínas de elevada calidad (MPC) (Bressani y Mertz, 1958). La diferencia principal de la variedad con elevado contenido de aceite es el tamaño del germen, el cual es aproximadamente tres veces mayor que el del maíz común, con una disminución de peso del endospermo. El germen de las variedades con elevado contenido de proteínas es mayor que el de maíz común, pero su tamaño es aproximadamente la mitad del de las variedades con elevado contenido de aceite. También hay diferencias en el

peso de las cubiertas seminales. El Cuadro 2 muestra también algunos datos relativos al teosinte, la gramínea más próxima al maíz; el peso de sus semillas es mucho menor que el de las semillas de maíz y el endospermo pesa aproximadamente la mitad del de el matiz. Las tres selecciones de MPC son similares al maíz en peso por semilla y en peso de la cubierta seminal, el endospermo y el germen; datos similares pueden encontrarse en trabajos de otros autores. En el Cuadro 3 se resumen los datos correspondientes a dos variedades comunes y a una de maíz opaco-2 (Landry y Moureaux, 1980). Las dos muestras de maíz común presentan las mismas características generales que las anteriormente mencionadas; ahora bien, el germen de la muestra de maíz opaco-2 es mayor y suministra más nitrógeno que el del MPC del Cuadro 2. En cuanto al germen, el aumento de peso y de la cantidad de nitrógeno, tanto en términos absolutos como relativos, concuerda con otros resultados (Watson, 1987).

CUADRO 2

Distribución ponderal y del nitrógeno entre las distintas partes del grano

Muestra de maíz	Peso de 20 semillas	Distribución ponderal (%)			Total N (%)	Distri nitro

	(g)	Cubierta seminal ^a	Endo spermo	Germen		Cubie Semir
EE.UU.4251	5,62	6,3	86,3	7,4	1,31	3,3
EE.UU. Contenido elevado de aceite (HO)	5,72	6,4	71,2	22,4	1,99	2,4
EE.UU. Contenido elevado de proteínas (H5)	4,32	6,9	82,7	10,4	2,24	2,2
EE.UU. Contenido elevado de proteínas (HP)	4,97	7.4	78,9	13,7	2,14	2,7
EE.UU. Normal-Sh1 PT	4,38	6,7	79,6	13,7	2,14	2,7
EE.UU. Normal mutante-Sh1 PT	2,50	10,7	70,6	18,7	2,21	6,1
Tiquisate (TGY)(Guatemala)	8,24	4,9	83,9	11,2	1,37	2,8
San Sebastián (SSD) (Guatemala)	8,24	4,9	83,9	11,2	1,37	2,8
Guatemalteco 142-48	6,91	6,9	82,1	11,0	1.83	2,6
Guatemalteco Cuyuta	5,95	5,7	82,5	11,8	1,28	2,9
Teosinte guatemalteco	1,56	55,6b	44,4	—	1,81c	8,2

MPC Nutricia	5,91	5,7	82,7	11,6	1,42	1,7
MPC amarillo	6,49	5,9	81,6	12,5	1,48	2,4
MPC blanco	5,31	5,9	82,4	11,6	1,36	1,4

a Comprende el pericarpio y la piloriza.

c comprende la cubierta seminal (13 por ciento) y la cascara (54.3 por ciento).

b La cascara contenía 0,26 por ciento de nitrógeno. El teosinte descascarado contenía 3,81 por ciento de nitrógeno.

d Comprende el germen.

Fuente: Bressani y Mertz 1958.

CUADRO 3

Distribución del peso y del nitrógeno de partes de granos de maíz común y opaco-2

Parte del grano	Materia seca (%)			Nitrogeno (%)		
	Normal	Normal	Opaco-	Normal	Normal	Opaco-

			2			2
Germen	13,5	8.1	35	20,1	14,9	35,1
Endospermo	80,0	84,0	61	76,5	80,5	60,7
Cubierta seminal	6,5	7,9	4	3,4	4,6	4,2

Fuente: Landry y: Moureaux 1980.

Producción mundial

La producción mundial de maíz aumentó de 1979-81 a 1987 como se indica en el Cuadro 4, en la que se desglosa por continentes. La superficie plantada con maíz pasó de 105 millones de hectáreas en 1961 a unos 127 millones en 1987. La producción creció significativamente debido en parte al aumento de las tierras cultivadas con el cereal, aunque sobre todo gracias a mejoras genéticas a la aplicación de técnicas más eficientes y a la utilización de fertilizantes, así como a la introducción de variedades nuevas con mayor capacidad de reproducción.

Los países en desarrollo dedican más tierras al cultivo del maíz que los países desarrollados, pero éstos obtienen un rendimiento aproximadamente cuatro veces

mayor. Así, por ejemplo, el rendimiento por hectárea de los Estados Unidos ha aumentado considerablemente desde 1961, en tanto que los de México, Guatemala y Nigeria, países en los que la ingesta de maíz de los habitantes es elevada especialmente en los dos primeros- sólo se ha incrementado ligeramente desde esa fecha. Mientras que la mayor parte de la producción de los países en desarrollo se dedica al consumo humano, la del mundo desarrollado sirve fundamentalmente para la elaboración industrial y para pienso. En América del Norte y América Central, los elevados rendimientos por hectárea y la gran producción de la región se deben sobre todo a los Estados Unidos, que producen más que países como México en los que el maíz es el cereal básico más importante.

CUADRO 4

Producción de maíz el mundo

Región y año	Superficie cultivada (1000 ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (1000 MT)
Africa			

1979-1981	18 193	1 554	28 268
1985	19 099	1 522	29 069
1986	19 580	1 575	30 840
1987	19 512	1 395	27 225
América del Norte y Central			
1979-1981	39 399	5 393	212 384
1985	40 915	6 092	249 258
1986	37 688	6 116	230 511
1987	35 187	5 690	200 211
Amerita del Sur			
1979-1981	16 751	1 928	32 369
1985	17 813	2 182	38 859
1986	18 799	2 021	38 001
1987	19 413	2 143	41 595
Asia			

1979-1981	36 815	2 296	84 531
1985	35 246	2 628	92 629
1986	37 474	2 729	102 274
1987	37 399	2 788	104 269
Europa			
1979-1981	11 738	4 668	54 792
1985	11 556	5 423	62 673
1986	11 539	6 207	71 621
1987	11 405	6 039	68 901
Oceanía			
1979-1981	76	4 359	332
1985	124	3 804	471
1986	107	4 402	471
1987	84	4 302	363
URSS			

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

1979-1981	3 063	2 989	9 076
1985	4 482	3 214	14 406
1986	4 223	2 955	12 479
1987	4 600	3 217	14 800
Todo el mundo			
1979-1981	126 035	3 345	421 751
1985	129 235	3 771	487 367
1986	129 411	3 757	486 198
1987	127 605	3 584	457 365

Fuente: FAO, 1988.

La emigración de los habitantes del campo a las ciudades y los cambios del modo de vida que están teniendo lugar en los países en desarrollo, han registrado una tendencia cada vez más acusada a consumir trigo en lugar de maíz, que puede influir en la producción de este. El empleo del maíz en la industria y para pienso,

en particular para aves de corral y otros animales monogástricos ha aumentado ligeramente. La comparación de los datos disponibles para el maíz con los correspondientes al trigo y al arroz lo sitúan en el segundo puesto de los cereales, en cuanto a importancia, después del trigo. Ahora bien, por lo que se refiere a rendimiento por hectárea, el maíz supera a los otros dos cereales. El único cultivo alimentario que supera al maíz en toneladas por hectárea es la papa sin elaborar aunque no lo haría si se evaluaran ambos con el mismo contenido de humedad.

Aplicaciones del maiz

Como ya se ha señalado anteriormente, el maíz tiene tres aplicaciones posibles: alimento, forraje y materia prima para la industria. Como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, como por ejemplo semola de partículas de diferentes tamaños, semola en escamas, harina y harina fina, que a su vez tienen un gran número de aplicaciones en una amplia variedad de alimentos; se debe notar que el maíz cultivado en la agricultura de subsistencia continúa siendo utilizado como cultivo alimentario básico. En lo que respecta a su aplicación como forraje, en los países

desarrollados más del 60 por ciento de la producción se emplea para elaborar piensos compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes; en los últimos años, aun en los países en desarrollo en los que el maíz es un alimento fundamental, se utiliza un porcentaje más elevado de la producción como ingrediente para la fabricación de piensos. Desde hace relativamente poco, el maíz de elevada humedad ha despertado gran interés como alimento para animales, debido a su menor costo y a su capacidad de mejorar la eficiencia de la transformación de los alimentos. Los subproductos de la molienda en seco son el germen y la cubierta seminal el primero se utiliza para obtener aceite comestible de elevada calidad mientras que la cubierta seminal, o pericarpio, se emplea fundamentalmente como alimento, aunque en los últimos años ha despertado interés como fuente de fibra dietética (Earl et al. 1988; Burge y Duensing, 1989). La molienda húmeda es un procedimiento que se utiliza fundamentalmente en la aplicación industrial del maíz, aunque el procedimiento de cocido en solución alcalina empleado para elaborar las tortillas (el pan fino y plano de México y otros países de América Central) también es una operación de molienda húmeda que solo elimina el pericarpio (Bressani, 1990). La molienda húmeda produce almidón de maíz y subproductos entre los que figura el gluten que se utiliza como ingrediente alimenticio, mientras que el germen de maíz elaborado para producir aceite da como subproducto harina de germen que se utiliza como pienso; ha habido algunos

intentos de emplear dichos subproductos para el consumo humano en distintas mezclas y formulaciones alimenticias.

El aumento de los precios del petróleo ha impulsado la intensificación de las investigaciones sobre la fermentación del maíz para producir alcohol combustible, el cual tiene un uso muy difundido en algunas partes de los Estados Unidos. Con maíz fermentado se elaboran también algunas bebidas alcohólicas.

Por último, también tienen importancia las aplicaciones de los residuos de la planta de maíz, que se utilizan, entre otras cosas, como alimento para animales y como base para extraer diversos productos químicos de las pajas, como por ejemplo, furfural y xilosa. Estos residuos también tienen importancia como elementos para mejorar los suelos.

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

[Home](#):81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Capítulo 2 Composición química y valor nutritivo del maíz

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas. La composición química tras la elaboración para el consumo es un aspecto importante del valor nutritivo (véase el Capítulo 5), y en ella influyen la estructura física del grano, factores genéticos y ambientales, la elaboración y otros eslabones de la cadena alimenticia. En este capítulo se describirán las características químicas del maíz, tanto del tipo común como del que posee proteínas de elevada calidad, con el fin de comprender el valor nutritivo de los diversos productos del cereal que se consumen en todo el mundo.

Composicion quimica de las partes del grano

Como se muestra en el Cuadro 5, las partes principales del grano de maiz difieren considerablemente en su composicion quimica. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez esta formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento) (Burga y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidon (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteinas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

CUADRO 5

Composicion quimica proximal de las partes principales de los granos de maiz (%)

Componente quimico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteinas	3,7	8,0	18,4

Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: Watson, 1987.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona (véase la Figura 1), elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19 por ciento) y de fibra cruda. En los Cuadros 2 y 3 del Capítulo I se presentan datos complementarios sobre la distribución del nitrógeno en el grano de maíz. Como se aprecia, el endospermo aporta la mayor parte, seguido por el germen y, en último lugar, por la cubierta seminal, que presenta solo cantidades reducidas, mientras que en el teosinte cerca del 92 por ciento de las proteínas proceden del endospermo. Varios investigadores (por ejemplo

Bressani y Mertz, 1958) han llevado a cabo estudios sobre el contenido de proteínas del grano de maíz.

De los datos que figuran en los Cuadros 2 y 3 se desprende que el contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo; el de grasas crudas y, en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal. La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo; a este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas.

CUADRO 6 - Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz

El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos (Bressani et al., 1990; Weber, 1987); cuando se dan ingestas elevadas de maíz, como sucede en determinadas poblaciones, quienes consumen el grano degerminado obtendrán menos ácidos grasos que quienes comen el maíz entero

elaborado. Esta diferencia tiene probablemente igual importancia en lo que se refiere a las proteínas, dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente del de las proteínas del endospermo. Se expone esta situación en el Cuadro 6, en el que los aminoácidos esenciales se expresan en forma de porcentaje de mg por peso y de mg por g de N. Por otro lado, como se muestra en el Cuadro 2, el endospermo representa del 70 al 86 por ciento del peso del grano, y el germen del 7 al 22 por ciento. Así pues, si se analiza todo el grano, el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido de aminoácidos de las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada. No obstante, las proteínas del germen proporcionan una cantidad relativamente alta de determinados aminoácidos, aunque no suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano. El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptofano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptofano, al igual que las proteínas de todo el grano (véase el Cuadro 6, donde también figura el modelo de referencia de aminoácidos esenciales PAO/OMS). La deficiencia de lisina, triptofano e isoleucina ha sido perfectamente demostrada mediante numerosos estudios con animales (Howe, Jason y Gilfillan, 1965) y un número reducido de estudios con seres humanos (Bressani, 1971).

La calidad superior de las proteínas del germen en comparación con las del endospermo de diversas muestras de maíz se pone de manifiesto en el Cuadro 7, en el que se compara la calidad de ambas partes, en forma de porcentajes de la proteína de referencia, en este caso, caseína. Las variedades del cereal estudiadas comprenden tres de maíz común y una de maíz con proteínas de elevada calidad (MPC). En todos los casos, la calidad de las proteínas del germen es muy elevada en comparación con la de las del endospermo y patentemente superior a la calidad proteínica del grano entero. La calidad de las proteínas del endospermo es inferior a la del grano entero, a causa de la mayor aportación de proteínas del germen. Los datos muestran también una diferencia menor de calidad de las proteínas del germen y del endospermo en la variedad del MPC. Además, el endospermo del MPC y la calidad del grano entero es notablemente superior a la calidad del endospermo y del grano entero de las otras muestras. Estos datos son también importantes para las modalidades de elaboración del maíz para el consumo y por sus consecuencias para el estado nutricional de los consumidores. También muestran con claridad la mayor calidad del MPC frente al maíz común. La calidad superior del endospermo del MPC también tiene importancia para las poblaciones que consumen maíz degerminado.

Composicion quimica general

La información de que se dispone sobre la composición química general del maíz es abundante y permite conocer que la variabilidad de cada uno de sus principales nutrientes es muy amplia. En el Cuadro 8 se muestra la composición química de distintos tipos de maíz, tomados de un estudio que resume datos de diversas publicaciones. La variabilidad observada es tanto genética como ambiental y puede influir en la distribución ponderal y en la composición química específica del endospermo, el germen y la cascara de los granos.

CUADRO 7

Proteínas netas del grano entero, el germen y el endospermo de variedades de maíz guatemaltecos

Muestra	Amarillo	Azotea	Cuarenteno	Opaco-2
Grano entero	42,5	44,3	65,4	81,4
Germen	65,7	80,4	90,6	85,0
Endospermo	40,9	42,0	46,4	77,0

En porcentaje de caseína al 100%.

Fuente: Poey et al. 1979.

CUADRO 8 - Composición química general de distintos tipos de maíz (%)

Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 por ciento del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 por ciento del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30 por ciento del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 por ciento del almidón. La composición del almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con un endospermo de tipo dentado o corno, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, pero el gen que produce maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina. Un mutante del endospermo, denominado diluyente de la amilosa

(da), hace aumentar la proporción de amilosa del almidón hasta el 50 por ciento y más. Otros genes, solos o combinados, pueden modificar la composición del almidón al alterar la proporción entre la amilosa y la amilopectina (Boyer y Shannon, 1987).

Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 por ciento del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, y según Landry y Moureaux (1970; 1982), están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18 por ciento del total de nitrógeno, con proporciones del 7 por ciento, 5 por ciento y 6 por ciento, respectivamente. La fracción de prolamina soluble en isopropanol al 55 por ciento y de isopropanol con mercaptoetanol (ME), constituye el 52 por ciento del nitrógeno del grano; de estas la prolamina I o zeína I soluble en isopropanol al 55 por ciento representa aproximadamente el 42 por ciento, y el restante 10 por ciento es prolamina 2 o zaina 2. Una solución

alcalina con pH 10 y con 0,6 por ciento de ME, extrae la fracción de glutelina 2 en cantidades de aproximadamente el 8 por ciento, en tanto que la glutelina 3 es extraída con la misma solución retardante que antes, con dodecilsulfato de sodio al 0,5 por ciento, en cantidades del 17 por ciento dando un contenido total de globulina del 25 por ciento de las proteínas del grano. Normalmente, una porción reducida, cerca del 5 por ciento, está constituida por nitrógeno residual.

[CUADRO 9 - Distribución de las fracciones de proteína en las variedades Blanco dentado-1 MPC y Tuxpeño-1 \(grano entero\)](#)

En el Cuadro 9 se resumen los datos de Ortega, Villegas y Vasal (1986) sobre el fraccionamiento de las proteínas de un maíz común (Tuxpeño-1) y un MPC (Blanco dentado- I), Las fracciones II y III son zeína I y zeína II , de las que la zeína I (fracción II) es considerablemente superior en la variedad Tuxpeño- 1 en comparación con la MPC, resultado que coincide con los de otros investigadores. Las cantidades de proteínas solubles en alcohol son bajas en el maíz verde y aumentan a medida que el grano madura. Analizadas dichas fracciones para averiguar su contenido de aminoácidos, la fracción de zeína resultó tener un contenido muy bajo de lisina y carecer de triptófano. Como esas fracciones de zeína constituyen más del 50 por ciento de las proteínas del grano, se

desprende que ambos aminoácidos tienen también un porcentaje bajo de proteínas. En cambio? las fracciones de albúmina, globulina y glutelina contienen niveles relativamente elevados de lisina y triptofano. Otra característica importante de las fracciones de zeína es su elevadísimo contenido de leucina, aminoácido relacionado con la deficiencia de isoleucina (Patterson et al., 1980).

El MPC se diferencia del maíz común por la distribución ponderal de las cinco fracciones de proteína mencionadas anteriormente, como se ve en el Cuadro 9. La amplitud del cambio varía y en ella influyen el genotipo y las condiciones de cultivo. Ahora bien, se ha determinado que el gen opaco-2 disminuye la concentración de zeína en cerca del 30 por ciento, por lo que el contenido de lisina y triptofano es mayor en las variedades de MPC que en el maíz común.

La calidad nutritiva del maíz como alimento viene determinada por la composición de aminoácidos de sus proteínas. En el Cuadro 10 se indican los valores representativos de los aminoácidos, tanto del maíz común como del MPC. Para determinar la suficiencia del contenido de aminoácidos esenciales, en el cuadro figura también el modelo de referencia de aminoácidos esenciales FAO/OMS. En el maíz común, son patentes las carencia. de lisina y triptofano, en relación con el MPC. Otro rasgo importante es el elevado contenido de leucina del

maíz comen y el bajo contenido de este aminoácido en el MPC.

Aceite y ácidos grasos

El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van del 3 al 18 por ciento. La composición media de ácidos grasos del aceite de variedades seleccionadas de Guatemala se indica en el Cuadro 11. Dichos valores difieren en alguna medida, y cabe suponer que los aceites de distintas variedades tengan composiciones diferentes. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11 por ciento y el 2 por ciento, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoleico, con un valor medio de cerca del 24 por ciento. Solo se han encontrado cantidades reducidísimas de ácidos linolénico y araquidónico. Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico (0,7 por ciento) y niveles elevados de antioxidantes naturales. El aceite de maíz goza de gran reputación a causa de la distribución de sus ácidos grasos, fundamentalmente ácidos oleico y linoleico. A ese respecto, quienes consumen maíz degerminado obtienen menos aceite y ácidos grasos que quienes consumen

el grano entero.

CUADRO 10 - Contenido de aminoácidos del maíz y del teosinte (%)

CUADRO 11

Contenido de ácidos grasos del aceite de diversas variedades de maíz guatemalteco y MPC Nutricia (%)

Variedad le maíz	C16:0 Palmitico	C18:0 Esteárico	C18:1 Oleico	C18:2 Linoleico	C18:3 Linolénico
MPC Nutricia	15,71	3,12	36,45	43,83	0,42
Azotea	12,89	2,62	35,63	48,85	—
Xetzac	11,75	3,54	40,07	44,65	—
Blanco tropical	15,49	2,40	34,64	47,47	—
Santa Apolonia	11,45	3,12	38,02	47,44	—

Fuente: Bressani et al., 1990.

Fibra dietética

Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores. Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la piloriza, aunque también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen. El contenido total de fibra dietética soluble e insoluble de los granos de maíz se indica en el Cuadro 12. Las diferencias entre las muestras son pequeñas en lo que se refiere a la fibra soluble e insoluble, aunque el MPC Nutricia tiene niveles más elevados de fibra total que el maíz común, fundamentalmente por tener más fibra insoluble. En el Cuadro 13 se muestran los valores de fibra expresados en forma de fibra ácido- y neutrodetergente, hemicelulosa y lignina en el maíz completo. Los valores indicados en el cuadro son similares a los determinados por Sandstead et al. (1978) y Van Soest, Fadel y Sniffen (1979). Sandstead et al. hallaron que el salvado de maíz está formado por un 75 por ciento de hemicelulosa, un 25 por ciento de celulosa y 0,1 por ciento de lignina, en peso en seco. El contenido de fibra dietética de los granos descascarados será evidentemente menor que el de los granos enteros.

CUADRO 12**Fibra soluble e insoluble del maíz común y del MPC (%)**

Tipo de maíz	Fibra dietética		
	Insoluble	Soluble	Total
De sierra	10,94 1,26	1,25 0,41	12,19 1,30
De tierras bajas	11,15 1,08	1,64 0,73	12,80 1,47
MPC Nutricia	13,77	1,14	14,91

Fuente: Bressani, Breuner y Ortiz,.1989**CUADRO 13****Fibra neutro (FND) y ácido-detergente (FAD), hemicelulosa y lignina en el maíz completo para cinco variedades de maíz (%)**

Muestra de	FND	FAD	Hemiceullosa	Lignina	Paredes

maíz N ^a					celulares
1	8,21	3,23	4,98	0,14	9,1
2	10,84	2,79	8,05	0,12	10,8
3	9,33	3,08	6,25	0,13	12,0
4	11,40	2,17	9,23	0,12	13,1
5	14,17	2,68	11,44	0,14	14,2
Promedio	10,79 2,27	2,79 0,44	8,00 2,54	0,13 0,01	11,8 2,0

Fuente: Bressani. Breuner y Ortiz, 1989.

Otros hidratos de carbono

El grano maduro contiene pequeñas cantidades de otros hidratos de carbono, además de almidón. El total de azúcares del grano varía entre el 1 y el 3 por ciento, y la sucrosa, el elemento más importante, se halla esencialmente en el germen. En los granos en etapas de maduración hay niveles más elevados de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos. Doce días después de la polinización, el contenido de azúcar es relativamente elevado, mientras que el de

almidón es bajo. Conforme madura el grano, disminuyen los azúcares y aumenta el almidón.

CUADRO 14

Contenido de minerales del maíz (promedio de cinco muestras)

Mineral	Concentración (mg/100 g)
P	299,6 ± 57,8
K	324,8 ± 33,9
Ca	48,3 ± 12,3
Mg	107,9 ± 9,4
Na	59,2 ± 4,1
Fe	4,8 ± 1,9
Cu	1,3 ± 0,2
Mn	1,0 ± 0,2



Fuente: Bressani, Breuner y Ortiz, 1 1989.

Así, por ejemplo, se ha determinado que, en granos de 16 días de vida, los azúcares alcanzan un nivel del 9,4 por ciento del peso en seco del grano, pero que su nivel disminuye considerablemente con el paso del tiempo. La concentración de sucrosa a los 15-18 días de la polinización asciende a una cantidad situada entre el 4 y el 8 por ciento del peso en seco del grano. A estos niveles relativamente elevados de azúcar y sucrosa reductores se debe posiblemente el hecho de que el maíz comido verde y, en mayor medida aún, el maíz dulce sean tan apreciados por la gente.

Minerales

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1,3 por ciento, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. El contenido de minerales de algunas muestras de Guatemala se indican en el Cuadro 14. Los factores ambientales influyen probablemente en dicho contenido. El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11 por ciento, frente a menos del 1 por ciento en el endospermo. El germen proporciona cerca del 78 por

ciento de todos los minerales del grano. El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0,90 por ciento en el maíz comen y cerca del 0,92 por ciento en el maíz opaco-2. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de Ca y de oligoelementos.

Vitaminas liposolubles

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide, y la vitamina E. Los carotenoides se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen. El beta-caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada pues los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como maíz blanco. Squibb, Bressani y Scrimshaw (1957) determinaron que el beta-caroteno equivale aproximadamente al 22 por ciento del total de carotenoides (4,4-11,3 µg/g) de tres muestras de maíz amarillo. El contenido de criptoxantina equivale al 51 por ciento del total de carotenoides. La proporción de vitamina A variaba de 1,5 a 2,6 µg/g. Los

carotenoides del maíz amarillo pueden destruirse durante el almacenamiento; Watson (1962) encontró en el maíz recién cosechado valores de 4,8 mg/kg, que al cabo de 36 meses de almacenamiento habían disminuido a 1,0 mg/kg. Lo mismo sucedió con las xantofilas. Según estudios recientes, si se mejora la calidad proteínica del maíz aumenta la transformación de beta-caroteno en vitamina A.

La otra vitamina liposoluble, la vitamina E, que es objeto de cierta regulación genética, se halla principalmente en el germen. La fuente de la vitamina E son cuatro tocoferoles; el más activo biológicamente es el tocoferol-alfa; aunque el tocoferol-gamma es probablemente más activo como antioxidante.

Vitaminas hidrosolubles

Las vitaminas solubles en agua se encuentran sobre todo en la capa de aleurona del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo. Esta distribución tiene importancia al elaborar el cereal pues, como se expone más adelante, la elaboración da lugar a pérdidas considerables de vitaminas. Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en el grano del maíz; su contenido está determinado en mayor medida por el medio ambiente y las prácticas de cultivo que por la estructura genética, aunque se han encontrado

diferencias en el contenido de estas vitaminas entre las distintas variedades. La vitamina soluble en agua a la cual se han dedicado más investigaciones es el ácido nicotínico, a causa de su asociación con la deficiencia de niacina, o pelagra, fenómeno muy difundido en las poblaciones que consumen grandes cantidades de maíz (Christianson et al., 1968). Al igual que sucede con otras vitaminas, el contenido de niacina es distinto según las variedades, con valores medios de aproximadamente 20 mg/g. Una característica propia de la niacina es que está ligada y por lo tanto, el organismo animal no la puede asimilar; sin embargo existen algunas técnicas de elaboración que hidrolizan la niacina, permitiendo su asimilación. La asociación de la ingesta de maíz con la pelagra se debe a los bajos niveles de niacina del grano, aunque se ha demostrado experimentalmente que también son importantes los desequilibrios de aminoácidos, por ejemplo la proporción entre la leucina y la isoleucina, y la cantidad de triptofano asimilable (Gopalan y Rao, 1975; Patterson et al., 1980).

El maíz no tiene vitamina B12 y el grano maduro contiene sólo pequeñas cantidades -en caso de que las haya- de ácido ascórbico. Yen, Jensen y Baker (1976) hallaron un contenido de aproximadamente 2,69 mg/kg de piridoxina asimilable. Otras vitaminas, como la colina, el ácido fólico y el ácido pantoténico, se encuentran en concentraciones pequeñas.

Cambios en la composición química y el valor nutritivo durante el desarrollo del grano

En muchos países se utiliza a menudo maíz maduro como alimento, ya sea cocinado entero como cereal en la panoja, o molido para eliminar la cubierta seminal y utiliza la pulpa para hacer gachas espesas o comidas como los tamalitos. Durante la maduración se modifica considerablemente la composición química. Todos los estudios al respecto (p. ej., Ingle, Bietz y Hageman, 1965) han puesto de manifiesto que disminuyen el nitrógeno, la fibra cruda y la ceniza, con respecto al peso en seco, y que aumentan el almidón y el extracto etéreo.

CUADRO 15

Calidad de las proteínas del maíz y otros cereales

Cereal	Calidad de las proteínas (% de caseína)
Maíz común	32,1
Maíz opaco-2	96,8

MPC	82,1
Arroz	79,3
Trigo	38,7
Avena	59,0
Sorgo	32,5
Cebada	58,0
Mijo perla	46,4
Mijo africano o coracón	35,7
Tef	56,2
Centeno	64,8

Las proteínas solubles en alcohol aumentan velozmente a medida que madura el grano, al tiempo que disminuyen las solubles en soluciones ácidas y alcalinas. Durante este proceso bioquímico, aumentan la arginina, la isoleucina, la leucina y

la fenilalanina, expresadas en mg por g de N, mientras que en el curso de la maduración disminuyen la lisina, la metionina y el triptofano. Gómez-Brenes, Elías y Bressani (1968) han demostrado además que disminuye la calidad de las proteínas, entendiéndose por tal el índice de eficiencia proteínica (PER). Por tanto, se debería fomentar el empleo del maíz verde en la fase de destete o para la nutrición infantil.

Valor nutritivo del maíz

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. Debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo, no se les puede considerar solo una fuente de energía, sino que además suministran cantidades notables de proteínas. Los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de estas se halla limitada por la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales, sobre todo lisina. Un hecho mucho menos conocido es que algunos cereales contienen un exceso de ciertos aminoácidos esenciales que influye en la eficiencia de la asimilación de las proteínas. Ejemplo clásico de ello es el maíz, pues otros cereales presentan limitaciones iguales, pero menos evidentes.

En el Cuadro 15 se compara el valor nutritivo o calidad de las proteínas del maíz con la de otros ocho cereales, expresado en porcentajes de caseína. A excepción del arroz, la riqueza de proteínas del maíz común es similar a la de los demás cereales. Tanto el maíz opaco-2 como el MPC de endospermo duro (Nutricia) tienen un contenido de proteínas no solamente superior al del maíz común, sino también considerablemente superior al de los demás cereales.

Numerosos investigadores han analizado las causas de la baja calidad de las proteínas del maíz, y entre los primeros estudios estuvieron los de Mitchell y Smuts (1932), quienes consiguieron mejoras notorias en el crecimiento humano al complementar dietas de proteínas de maíz al 8 por ciento con un 0,25 por ciento de lisina. Estos resultados han sido confirmados a lo largo del tiempo por otros autores (p. ej., Howe, Janson y Gilfillan, 1965), en tanto que otros (p. ej., Bressani, Elias y Braham, 1968) han mostrado que al agregar lisina al maíz solo mejora levemente la calidad de las proteínas. Esta diferencia de resultados se puede explicar por el distinto contenido de lisina de las variedades de maíz. Los estudios al respecto llevaron al descubrimiento por parte de Mertz, Bates y Nelson (1964) del maíz con elevado contenido de lisina denominado opaco-2.

Según algunos investigadores (Hagan et al., 1955), es el triptofano, no la lisina, el

principal aminoácido limitante de las proteínas del maíz, lo cual puede ser cierto en el caso de algunas variedades con una concentración elevada de lisina o para productos de maíz que hayan sido sometidos a algún tipo de elaboración. Todos los investigadores han coincidido, en cambio, en que la adición simultánea de lisina y triptofano mejora considerablemente la calidad de las proteínas del maíz, como se ha demostrado experimentalmente con animales.

La mejora de calidad obtenida a raíz de la adición de lisina y triptofano ha sido pequeña en algunos estudios y más elevada en otros, tras la adición de otros aminoácidos. Al parecer, el aminoácido limitante de las proteínas de más importancia, después de la lisina y del triptofano, es la isoleucina, según se ha determinado en experimentos de alimentación animal (Benton, Harper y Elvehjem, 1955). La mayoría de los investigadores que han indicado esos resultados señalan que el efecto de la adición de isoleucina se debe a un exceso de leucina que obstaculiza la absorción y la utilización de la isoleucina (Harper, Benton y Elvehjem, 1955; Benton et al., 1956). Se ha informado que la elevada ingesta de leucina consumida con las proteínas del maíz aumenta las necesidades de niacina y que este aminoácido podría ser, parcialmente, el causante de la pelagra.

Cuando se ha observado una respuesta a la adición de treonina, se ha interpretado

como un efecto de este aminoácido para corregir los desequilibrios de aminoácidos ocasionados por la adición de metionina. Cabe atribuir una función similar a la isoleucina en los casos en que su adición ha dado lugar a una mejora de los resultados. De igual modo, la adición de valina, que hace disminuir la calidad de las proteínas, se puede contrarrestar añadiendo isoleucina o treonina.

La isoleucina parece ser, en cualquier caso, más eficaz que la treonina, pues produce resultados más coherentes, los que quizá se deban a que el maíz no es deficiente ni en isoleucina ni en treonina; sin embargo, algunas muestras pueden contener cantidades mayores de leucina, metionina y valina, y necesitan que se les agregue isoleucina y treonina, además de lisina y triptofano, para mejorar la calidad de las proteínas. Sea como fuere, la adición de 0,30 por ciento de L-lisina y de 0,10 por ciento de L-triptofano aumenta fácilmente la calidad de las proteínas del maíz en un 150 por ciento (Bressani, Elías y Braham, 1968). Muchos de los efectos de los aminoácidos limitantes sobre las proteínas del maíz varían según el nivel de proteínas del maíz. Como se indicó anteriormente, el contenido de proteínas del maíz es un rasgo genético en el que influye el abono nitrogenado. El aumento del contenido de proteínas observado guarda estrecha correlación con la zeína, o proteína soluble en alcohol, que es baja en lisina y triptofano y contiene cantidades excesivas de

leucina. Frey (1951) halló una correlación elevada entre el contenido de proteínas y la zeína del maíz, hecho que han confirmado otros autores. Utilizando distintas especies animales, diversos investigadores han llegado a la conclusión de que la calidad de las proteínas del maíz con bajo contenido de proteínas es superior a la del maíz con alto contenido, si las proteínas de las dietas examinadas son las mismas; por otro lado, comparando pesos iguales, el maíz con elevado contenido de proteínas tiene una calidad de éstas ligeramente superior a la del maíz con bajo contenido de proteínas. En consecuencia, el nivel de proteínas de la dieta influye en la respuesta observada a una dieta suplementada con aminoácidos como lisina y triptofano, pero también a dietas complementadas con otros elementos, como isoleucina y treonina.

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

CUADRO 6

Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

Aminoacido	Endospermo ^a		Germen ^b		Modelo FAO/OMS
	mg %	mg/g N	mg %	mg/g N	
Triptofano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1 024	810	1 030	444	440
Lisina	228	180	791	341	340
Total azufrados	249	197	362	156	220
Fenilalanina	359	284	483	208	380
Tirosina	483	382	343	148	380
Valina	403	319	789	340	310

^a1,26 por ciento de N.

b_{2,32} por ciento de N

Fuente: Orr y Watt. 1957.

CUADRO 8

Composición química general de distintos tipos de maíz (%)

Tipo	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra cruda	Extracto etéreo	Hidratos de carbón
Salpor	12,2	1,2	5,8	0,8	4,1	75,9
Cristalino	10,5	1,7	10,3	2,2	5,0	70,3
Harinoso	9,6	1,7	10,7	2,2	5,4	70,4
Amiláceo	11,2	2,9	9,1	1,8	2,2	72,8
Dulce	9,5	1,5	12,9	2,9	3,9	69,3
Reventador	10,4	1,7	13,7	2,5	5,7	66,0
Negro	12,3	1,2	5,2	1,0	4,4	75,9

Fuente: Cortez Wild-Altamirano, 1972.

CUADRO 9

Distribución de las fracciones de proteína en las variedades Blanco dentado-1 MPC y Tuxpeño-1 (grano entero)

Fracción de proteína	Blanco Dentado-1 MPC		Tuxpeño-1	
	(mg)	(%)	(mg)	(%)
I	6,65	31,5	3,21	16,0
II	1,25	5,9	6,18	30,8
III	1,98	9,4	2,74	13,7
IV	3,72	17,6	2,39	12,0
V	5,74	27,2	4,08	20,4
Residuos	1,76	8,3	1,44	7,1

Fuente: Ortega. Villegas y Vasal, 1986.

CUADRO 10**Contenido de aminoácidos del maíz y del teosinte (%)**

Aminoácidos	Guatemalteco				EE. UU			
	Cuyuta (blanco)	SSD (blanco)	TGY (amarillo)	142-48 (amarillo)	4251 (híbrido)	HO (blanco)	H5 (amarillo)	
(Nitrógeno)	1,28	1,37	1,57	1,83	1,31	1,99	2,24	2
Acido aspártico	6,5	5,8	6,1	6,0	6,2	6,0	6,8	6
Acido glutámico	15,4	14,0	13,5	15,0	14,6	13,9	12,4	1
Alanina	7,5 ^a	12,5	10,3	8,6	8,9	6,4	10,8	9
Arginina	3,5	3,6	4,1	2,9	3,9	4,6	3,6	3
Cistina	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,5	1,2	1
Fenilalanina	4,4	4,6	4,4	5,4	4,5	2,9	5,3	5

Glicina	2,1	2,8	2,9	2,1	2,3	2,4	2,6	2
Isoleucina	2,6	2,7	3,4	3,0	3,3	3,5	3,7	4
Leucina	10,5	12,0	12,2	13,4	12,2	7,8	13,6	1
Lisina	2,8	2,1	2,6	2,3	2,9	3,2	2,1	2
Metionina	1,3	1,2	1,0	1,0	1,6	1,2	1,7	1
Prolina	8,1	7,4	6,6	9,6	10,3	9,3	8,3	6
Serina	4,5	4,2	4,6	4,5	4,6	4,8	5,0	5
Tirosina	2,9	3,0	3,0	3,3	3,4	3,5	3,6	4
Treonina	3,1	2,9	3,1	3,0	3,3	3,2	3,1	3
Triptofano	0,63	0,47	0,51	0,44	0,49	0,56	0,43	0
Valina	4,1	4,1	4,3	4,0	4,6	2,1	4,3	4

HO: maíz con clavado contenido de aceite.

H5 ,HP: maíz con elevado contenido de proteínas.

^aPorcentaje de proteínas crudas (N x 6.25). g/16 g N.

b Descascarado.

c Total de aminoácidos azufrados.

d Total de aminoácidos aromáticos.

Fuentes: Bressani y Mertz. 1958; Mertz et al., 1975.

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiete](#)

[Home](#):81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Capitulo 3 Tecnología postcosecha: la preelaboración

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiete](#)

La posibilidad de modificación de los componentes químicos del maíz y de su valor nutritivo no acaba cuando se cosecha el grano. Los eslabones posteriores de la cadena alimentaria, como el almacenamiento y la elaboración, también pueden dar lugar a una disminución notable de la calidad nutritiva del maíz y, lo que es peor, volverlo inservible para el consumo humano o animal o para aplicaciones

industriales.

El secado

La recolección del maíz es una actividad muy mecanizada en los países desarrollados, mientras que en los países en desarrollo esta se hace a mano manualmente. El sistema mecanizado no solo arranca la mazorca de la planta, sino también el grano de la panoja, mientras que la recolección a mano requiere arrancar primero la mazorca, y posteriormente mondarla. En ambos casos, el maíz se recoge habitualmente cuando tiene un contenido de humedad del 18 al 24 por ciento. Los deterioros ocasionados al grano (normalmente durante la operación de descascaramiento) guardan relación con el contenido de humedad en el momento de la recogida: cuanto menor sea la humedad, menor será el deterioro.

La calidad física del grano puede modificarse a causa de la recogida mecánica, el descascaramiento y el secado. Los dos primeros procesos dan lugar en ocasiones a daños externos, como la ruptura del pericarpio y de partes en torno al germen, lo cual facilita el ataque de los insectos y hongos. El secado, en cambio, no ocasiona daños físicos marcados, pero si es demasiado rápido y se efectúa a temperaturas elevadas, puede hacer que se formen quebraduras por la tensión, así como

ampollas y descoloramiento que tendrán repercusiones en la eficiencia de la molienda en seco y en otros procesos (Paulsen y Hill, 1985).

En los países tropicales, el secado se acelera parcialmente inclinando la parte superior de la planta que sujeta la mazorca, método que ayuda además a evitar que los granos se empapan cuando llueve. Tanto si se recogen mecánica o manualmente, los granos contienen excesiva humedad para poder almacenarlos con seguridad y hay que secarlos hasta niveles seguros de humedad: aproximadamente 12 por ciento a 30 C y 14 por ciento a 10 B (Herum, 1987). La estabilidad del grano almacenado depende de la humedad relativa de los gases intersticiales, que obedece tanto al contenido de humedad del grano como a la temperatura. Un contenido de humedad bajo y bajas temperaturas de almacenamiento disminuyen las posibilidades de deterioro y propagación de microbios. Así pues, la aireación es un elemento muy importante del almacenamiento del maíz, como medio para mantener baja la humedad relativa de los gases intersticiales.

En los países tropicales se han observado graves pérdidas de maíz, de hasta el 10 por ciento, sin incluir las ocasionadas por los hongos, los insectos y los roedores. Si se incluyen éstas, las pérdidas pueden ascender hasta al 30 por ciento en las zonas húmedas tropicales o del 10 al 15 por ciento en las zonas templadas.

Scheinder (1987) observó en Honduras pérdidas postcosecha del 6,5 al 8,7 por ciento en el campo y del 7,4 al 13,9 por ciento en los almacenes. Las pérdidas ocasionadas por los hongos, sobre todo *Aspergillus* y *Penicillium*, tienen importancia no solo económica sino también en el terreno de la salud, a causa de las aflatoxinas y las micotoxinas (De Campos, Crespo y Olszyna-Marzys, 1980).

En un estudio sobre el maíz en venta en mercados rurales de Guatemala, Martínez-Herrera (1968) constató que éste estaba contaminado gravemente por varios hongos, y que algunas especies de *Aspergillus* -que, como es sabido, producen aflatoxina- aparecían con frecuencia. Se ha demostrado que la máxima contaminación por aflatoxinas del maíz de Guatemala tiene lugar durante la estación de las lluvias. Las muestras analizadas 20 días después de la recolección del maíz presentaban un nivel total de aflatoxinas de 130 µg por kg de maíz. Esas mismas muestras, analizadas 60 días después, arrojaban un considerable aumento, de hasta 1 680 µg por kg. Estos datos y los de otros estudios indican que es imperativo secar el maíz antes de almacenarlo. Hay diversos sistemas y equipos de secado que utilizan diferentes fuentes de energía, entre ellas la energía solar (Herum, 1987). Es menester tener en cuenta varios factores: la temperatura, la potencia y la velocidad del aire, el ritmo de secado la eficiencia de los distintos métodos de secado la calidad del grano, la fuente del

combustible, los costos fijos y la gestión de las operaciones. El secado es una medida importante para obtener un grano de buena calidad, exento de hongos y de microorganismos y que ofrezca las características cualitativas adecuadas para su comercialización y uso final.

Métodos de secado

Secado en capas. Este metodo consiste en colocar el granto recolectado en un recipiente. una capa tras otra. Cada capa de grano se seca parcialmente antes de colocar la siguiente. El granto se seca introduciendo aire a través de un fondo perforado o por un conducto situado en el fondo del recipiente. Para aumentar la eficacia, se agita y mezcla con la nueva capa el grano ya parcialmente seco. Otro método consiste en retirar los granos parcialmente secos y secarlos totalmente en tandas. Uno de los problemas de este y otros métodos de secado es el de encontrar la forma de mezclar granos de poca humedad con granos de mucha humedad para conseguir que el producto final tenga el equilibrio deseado; al intentarlo a menudo el grano se echa a perder Según Sauer y Burroughs (1980) el equilibrio se alcanza en una proporción de más del 80 por ciento al cabo de 24 horas. Se han ideado metodos para detectar el maíz que ha quedado con demasiada humedad en las mezclas de maíz secado artificialmente.

Secadores portátiles por tandas. Como las instalaciones de secado son costosas, son pocos los productores de maíz-sobre todo los campesinos-que pueden disponer de una propia. Los secadores portátiles por tandas son portátiles porque pueden llevarse de una finca a otra, funcionan mediante aire calentado a temperaturas de 140 a 180 °F (60 a 82°C).

Secadores de flujo continuo. El principio del funcionamiento de estos secadores consiste en hacer pasar un flujo continuo de granos por secciones calentadas y no calentadas, gracias a lo cual se obtienen granos secos y a baja temperatura. Son el elemento central de los silos de grano.

Almacenamiento

Factores bióticos y no bióticos

La conservación eficaz del maíz, al igual que la de otros cereales y leguminosas alimenticias, se basa esencialmente en las condiciones ecológicas reinantes durante el almacenamiento, en las características físicas, químicas y biológicas del grano, en la duración del almacenamiento, y, por último, en el tipo y características funcionales del local de almacenamiento. Los factores de

importancia que influyen al respecto son de dos clases: en primer lugar, los de origen biótico, que comprenden todos los elementos o agentes vivos que encontrándose en condiciones favorables para su desarrollo- utilizar el grano como fuente de elementos de nutrición y con ello ocasionar su deterioro. Se trata fundamentalmente de insectos, microorganismos, roedores y aves. En segundo lugar están los factores no bióticos, que comprenden la humedad relativa, la temperatura y el tiempo transcurrido. Las características físicas y bioquímicas del grano influyen en los efectos de dichos factores bióticos y no bióticos. La baja conductividad térmica del grano, su capacidad de absorción de agua, su estructura, su composición química, su ritmo de respiración y calentamiento, la textura y consistencia del pericarpio y el método y condiciones del secado influyen en los cambios que tienen lugar durante el almacenamiento.

Se han detectado pérdidas de nutrientes en el maíz almacenado en condiciones deficientes. Quackenbush (1963) constató pérdidas de caroteno en el maíz almacenado a distintas temperaturas y condiciones de humedad. En otros estudios, se almacena maíz común y MPC en distintos tipos de recipientes, con y sin productos químicos. Al cabo de seis meses se analizaron varias muestras para determinar si se habían registrado daños por insectos y hongos o si se había modificado la calidad de las proteínas. En ambos tipos de maíz, el no protegido

se había deteriorado en alguna medida, no así el maíz al que se habían añadido productos químicos; la calidad de las proteínas no se modificó (Bressani et al., 1982). Otros cambios debidos al secado y al almacenamiento fueron: una menor solubilidad de las proteínas; la modificación del valor nutritivo para el ganado porcino; cambios de olor y sabor (Abraneson, Sinka y Milis, 1980); y cambios de la digestibilidad in vitro ocasionados por el deterioro debido al calor (Onigbinde y Akinyele, 1989).

A pesar de que las pérdidas causadas por los insectos y las aves son considerables, se ha prestado mayor atención a los problemas causados por las infecciones microbianas, no sólo por las pérdidas de grano ocasionadas, sino fundamentalmente a causa de los efectos tóxicos que los subproductos metabólicos de esos microorganismos tienen sobre la salud de los seres humanos y de los animales.

Los estudios sobre las repercusiones del maíz infestado de insectos en la nutrición son escasos. Daniel et al. (1977) y Rajan et al. (1975) hallaron pérdidas de treonina y de calidad de las proteínas del maíz infestado con *Sitophilus oryzae*. En el primero de los estudios citados, el índice de eficiencia proteínica (PER) disminuyó al cabo de tres meses, desde un valor inicial de 1,30 a 0,91. En el

segundo estudio, la treonina bajó de 3,5 a 2,9 g por 16 g N y el PER de 1,49 a 1,16. Los investigadores citados comprobaron también pérdidas de eficacia del maíz deteriorado en lo que se refiere a complementar las legumbres.

Otro aspecto importante para la nutrición es el aumento de ácido fólico, de un valor inicial de 3,5 a 90,6 mg por 100 g al cabo de tres meses; por otro lado también se detectaron pérdidas de tiamina. Bressani et al. (1982) evaluaron cinco productos químicos y tres tipos de recipientes en lo que respecta a su eficacia para evitar el daño producido por los insectos en la calidad nutricional del MPC. Cerca del 38 por ciento del grano no tratado (testigo) resultó deteriorado por los insectos, aunque el hecho no afectó a la calidad de sus proteínas.

Según varias investigaciones, existe una relación entre los daños ocasionados por los insectos y la contaminación por toxinas (entre otros, Fennell et al., 1978; Pérez, Tuitey Baker, 1982).

Christensen (1967) midió algunos cambios ocurridos en el maíz EE.UU. N° 2 almacenado durante dos años con contenidos de humedad de 14,5 y 15,2 por ciento y a temperaturas de 12, 20 y 25°C. Los cambios se evaluaron en lo tocante al aspecto, la invasión de hongos, el porcentaje de germinación y el valor final de

acidez lipídica. Las muestras almacenadas a 25°C se deterioraron rápidamente en ambos niveles de contenido de humedad. Las características de las muestras con un contenido de humedad del 15,2 por ciento se vieron alteradas ligeramente al cabo de seis meses a 12°C, pero fueron considerablemente alteradas una vez transcurridos dos años. El maíz almacenado con un contenido de humedad del 14,5 por ciento mantuvo su condición originaria al ser guardado a 12°C durante el período de dos años, y solo cambió levemente al cabo de año y medio a 20°C. Se observó una gran variabilidad de la interacción insecto-hongos; en algunas regiones en que se cultiva maíz los insectos han producido graves daños en las mazorcas en fase de maduración, sin aparición de aflatoxinas, mientras que en otras zonas en las que los insectos habrían ocasionado daños similares hubo una aparición relativamente difundida de aflatoxinas en los granos en el momento de la recolección.

Se han llevado a cabo muchos estudios para evaluar el valor nutritivo del maíz mohoso, y aunque se ha detectado cierto aumento de su contenido de vitamina B, debido posiblemente a los metabolitos de los microorganismos, el daño ocasionado a la salud de los animales sobrepasa con creces cualquier cambio positivo en la composición química. Algunos investigadores han estudiado el deterioro del valor nutritivo del maíz dañado por moho, como Martínez et al. (I

970a), hallando importantes efectos negativos en las aves de corral y ratas de laboratorio alimentadas con maíz mohoso; sin embargo, resulta difícil determinar si dichos efectos se debieron a las toxinas producidas por los hongos, o a una pérdida de elementos nutritivos del sustrato debido a que fueron consumidos por los microorganismos.

Christensen y Sauer (1982) analizaron las consecuencias de la invasión de hongos en los granos de cereales, encontrando que éstos reducen la calidad y clase de los granos a través de la pérdida de materia seca, decoloración, calentamiento, formación de pulpa y contaminación por micotoxinas. Los indicios microbianos de invasión de hongos y deterioro de las semillas son: el deterioro visible, la infección de las semillas, el número de propágulos de hongos, la emisión de dióxido de carbono y la disminución de la germinación de las semillas y del contenido de ergosterol.

Inhibición de la contaminación de aflatoxinas

Las investigaciones acerca de cómo proteger el maíz contra la destrucción por contaminación de aflatoxinas han avanzado en dos direcciones: la primera es la inhibición de la propagación del *Aspergillus flavus* o *A. parasiticus*. y la otra

consiste en suprimir las aflatoxinas después de producidas por la infección de *Aspergillus*. La mayoría de los investigadores han centrado su labor en la inhibición de la propagación de los hongos, y ya se han hallado algunos productos químicos eficaces en condiciones de almacenamiento; esto, sin embargo, no resuelve el problema de la contaminación en el campo producida por mohos, dado que las esporas aerotransportadas son muy abundantes en el medio ambiente. Las esporas pueden germinar en la panoja e infestar los tejidos internos en condiciones óptimas de temperatura y humedad. Por consiguiente, otros investigadores se han dedicado a estudiar la posibilidad de destoxicación.

El tostado es una operación eficaz para disminuir los niveles de aflatoxina, según el nivel inicial de la toxina y las temperaturas a que se efectúe (Conway y Anderson, 1978). Si bien las temperaturas elevadas pueden eliminar hasta un 77 por ciento de aflatoxinas, es sabido que también reducen el valor nutritivo del producto. La mezcla de maíz contaminado por aflatoxinas con agua amoniacal seguida por su tostado puede ser una manera sencilla y eficaz de descontaminarlo. Se han obtenido también buenos resultados utilizando amoníaco, aunque resulta difícil eliminar su olor en el grano tratado. Se han ensayado asimismo otros métodos más complejos. Así, por ejemplo, Chakrabarti (1981) demostró que se pueden disminuir los niveles de aflatoxina a menos de 20 ppb mediante

tratamientos por separado a base de peróxido de hidrógeno al 3 por ciento, 75 por ciento de metanol, 5 por ciento de clorhidrato de dimetilamina o 3 por ciento de ácido perclórico; estos tratamientos, sin embargo, ocasionan pérdidas de peso así como de proteínas y lípidos. Otros métodos consisten en utilizar dióxido de carbono con sorbato de potasio, así como óxido de azufre.

Se ha prestado alguna atención al empleo de hidróxido de calcio, un producto químico utilizado para la cocción del maíz en agua de cal (Bressani, 1990). Los estudios efectuados ponen de manifiesto una reducción considerable de los niveles de aflatoxinas, aunque su magnitud está directamente relacionada con los niveles iniciales. Las pruebas de alimentación con maíz mohoso tratado con hidróxido de calcio han mostrado una recuperación parcial de su valor nutritivo. Se puede disminuir considerablemente la contaminación del maíz por hongos mediante métodos de recogida y manipulación adecuados. El deterioro no sólo aumenta el costo del grano, sino que además no se puede restablecer totalmente su valor nutritivo. A este respecto, Siriacha et al. (1989) determinaron que si el maíz desgranado se secaba inmediatamente al sol disminuían las posibilidades de contaminación en comparación con el maíz no secado y desgranado mecánica o manualmente. El desgranado favorece la contaminación por hongos, pues se deteriora la base del grano, que es superior en comparación con el resto. En

cambio, el maíz dejado en la panoja, aunque tiene niveles elevados de humedad, resiste relativamente bien a esa contaminación.

Clasificación de la calidad del grano

Con objeto de facilitar la comercialización y de determinar las aplicaciones más adecuadas de los distintos tipos de maíz producidos en el mundo, se han establecido determinadas características cualitativas del grano, aunque no han sido reconocidas por todos los países productores de maíz. En los Estados Unidos el maíz se clasifica en cinco categorías, basadas en ciertos factores. El peso mínimo en análisis se expresa en libras por bushel, libras por pie cúbico, o kilogramo por metro cúbico. Cuanto más elevado sea el peso en análisis más alta será la categoría. La proporción de maíz partido y de sustancias extrañas se expresa en porcentajes, que van del 2 por ciento en la Categoría 1 al 7 por ciento en la Categoría 5, los límites mínimo y máximo. Existe una clasificación de granos deteriorados, que incluye los deteriorados por el calor. Las categorías y normas abarcan también las clases de maíz, como el amarillo, el blanco y el mezclado. El maíz amarillo no debe contener más de un 5 por ciento de granos blancos, y el maíz blanco no debe contener más de un 2 por ciento de granos amarillos. La clase mixta es la que contiene más de un 10 por ciento del otro grano.

El contenido de humedad del maíz, elemento importante de su composición química, no se considera un factor de la calidad, aunque influye mucho en la composición, en los cambios de calidad durante el almacenamiento y elaboración, y en su valor económico. El maíz con humedad elevada, de textura blanda, se deteriora con facilidad durante el almacenamiento, mientras que el cereal con niveles bajos de humedad se quiebra. El nivel de humedad más aceptado para la comercialización del maíz es el 15,5 por ciento. La densidad del maíz -peso por volumen unitario- tiene importancia para el almacenamiento y transporte, dado que determina las dimensiones de los contenedores para ambas finalidades. El contenido de humedad y la densidad o el peso en análisis están relacionados mutuamente; cuanto más elevado sea el nivel de humedad, menor será la densidad específica o peso en análisis. Este raspo cualitativo del maíz también es importante a la hora de la molienda.

Otra característica cualitativa importante del maíz es su dureza, que repercute en las características del proceso de molienda, la formación de polvillo, las propiedades nutritivas, la elaboración para productos alimenticios y el rendimiento de los productos obtenidos mediante operaciones de molienda en seco y húmeda. La dureza del maíz está regulada genéticamente, pero se puede modificar mediante prácticas de cultivo y mediante la manipulación del grano recogido.

Muchos investigadores han propuesto metodologías de medición de la dureza, destinadas a distintas aplicaciones (Pomeranz et al., 1984, 1985 y 1986). El maíz de endospermo córneo, así como las variedades de maíz cristalino y reventador, tienen granos duros, en tanto que las variedades de maíz amiláceo y opaco tienen granos blandos. Algunos tipos de maíz duro tienen una dureza intermedia.

Por último, otra característica cualitativa es que el grano no está contaminado por hongos.

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

[Home](#):81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

Capitulo 4 Tecnología postcosecha: la elaboración

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

Modalidades de consumo del maiz

El maiz se consume en muchas formas distintas, desde la semola para polenta y pan de maiz al maiz para rosetas y productos como los copos de maiz (Rooney y Serna-Saldivar, 1987). El grano se fermenta para elaborar ogi en Nigeria (Oke, 1967) y otros países de Africa (Hesseltine, 1979), y se descascara, degermina y precuece para elaborar arepas en Colombia y Venezuela (Instituto de Investigaciones Tecnológicas, 1971; Rodríguez, 1972).

En Egipto es muy común la elaboración de aish merahra, un pan plano de maiz que se sazona con alholva y se fermenta mediante una levadura de masa agria. La harina fina de maiz se emplea para hacer una masa blanda, a la que se mezcla un 5 por ciento de semillas de alholva molidas, pues se cree que la hierba aumenta el contenido de proteínas, mejora la digestibilidad y alarga el periodo de almacenamiento posible del pan. La fermentación se inicia con masa agria y dura toda la noche. Por la mañana, se fabrican con la masa una especie de panecillos blandos y redondos que se dejan durante 30 minutos a prueba. Antes de meterlos en el horno, se convierten los panes en discos grandes y planos. El aish merahra se mantiene fresco de siete a diez días si se guarda en recipientes herméticos. En el Libano se consume un producto similar llamado markouk.

El maiz también se utiliza mucho para fabricar cerveza. En Benin, por ejemplo, se

obtiene malta germinando el grano durante unos cinco días. A continuación, se expone la malta al sol para interrumpir la germinación. Los granos se aplastan ligeramente en un mortero o en una piedra de amolar; se cuece la malta, se cuela el extracto, se enfría y se deja reposar. Al cabo de tres días de fermentación ya se ha convertido en cerveza (FAO, 1990).

El proceso de cocción del maíz en agua de cal es propio de México y América Central (Bressani, 1990), aunque actualmente se ha exportado la tecnología a otros países como los Estados Unidos. A partir del maíz cocido en agua de cal, se prepara una masa que es el ingrediente principal de muchos platos populares como el atole, una bebida con gran variedad de sabores, y los tamalitos, que se confeccionan envolviendo la masa en espaldas de maíz y cocinándola al vapor durante 20 a 30 minutos, para gelatinizar el almidón. Habitualmente la masa se mezcla con hojas tiernas de chipilín (*Crotalaria longirostrata*) flores de loroco (*Fernaldia pandurata*) o frijoles cocidos, lo que mejora la calidad nutritiva del producto y su sabor (Bressani, 1983). La masa también se emplea para hacer tamales, una preparación más compleja por el número de ingredientes que contiene, la mayor parte de las veces carne de pollo o de cerdo añadida a la masa gelatinizada. También se utiliza como base de las enchiladas, los tacos (tortillas plegadas rellenas de carne, etc.) y las pupusas, que se hacen con queso fresco

colocado entre dos capas de masa y que se hornean como las tortillas. Cuando la masa se fríe y condimenta, da alimentos como hojuelas de maíz y chilaquiles. Si se deja fermentar la masa durante dos días, envuelta en hojas de banano o plátano, da un alimento llamado pozol, a partir del cual se pueden fabricar diversas bebidas. Se ha afirmado que esa preparación tiene una elevada calidad nutritiva.

Hay muchas maneras interesantes y aceptables de elaborar el maíz que, a condición de que se presenten como productos atractivos y de fácil preparación, podrán contrarrestar en alguna medida la tendencia a un mayor consumo de alimentos derivados del trigo en los países consumidores de arepas y tortillas, así como en otros lugares.

Elaboracion del maiz integral: coccion en agua de cal

Cocción en agua de cal en las zonas rurales

Diversos investigadores han descrito el modo en que se cocina el maíz en las zonas rurales de los países consumidores de tortillas. Illescas (1943) fue el primero en describir el proceso tal como se lleva a cabo en México. Consiste en mezclar una

parte de maiz integral con dos partes de una solución de cal a aproximadamente el 1 por ciento. La mezcla se calienta a 80°C durante un lapso de 20 a 45 minutos y luego se deja reposar toda la noche. Al día siguiente, se decanta el líquido cocido y el maiz, denominado entonces nixtamal, se lava dos o tres veces con agua para eliminar las cubiertas seminales, las pilorrizas, la cal sobrante y las impurezas del grano. La adición de cal en las fases de cocción y de remojo contribuye a eliminar las cubiertas seminales; los subproductos se desechan o bien sirven para alimentar ganado porcino. Originalmente, se convertía el maiz en masa moliéndolo varias veces con una piedra plana hasta que las partículas gruesas alcanzaran la finura requerida; actualmente, la molienda inicial se realiza con un aparato de moler carne o con molinillos de disco y luego se refina la masa con la piedra. Para acabar, se toman unos 50 g de masa y se aplanan, tostándolo luego por ambos lados en una plancha caliente o placa de arcilla. En Guatemala se sigue un proceso similar, descrito por Bressani, Paz y Paz y Scrimshaw (1958), en el que se usa tanto el maiz blanco como el amarillo, pero la concentración de cal varía de 0,17 por ciento a 0,58 por ciento según el peso del maiz, con una proporción entre el grano y el agua de 1 :1,2, y el tiempo de cocción varía de 46 a 67 minutos a una temperatura de 94°C. El resto del proceso es en lo fundamental idéntico, salvo que la masa se prepara con un molinillo de disco y se tuesta durante unos cinco minutos a una temperatura cerca de 170°C en los bordes y de 212°C en el

centro.

Los tamalitos, que se preparan cociendo la masa al vapor, son más blandos y se conservan más tiempo. Si se utiliza maíz recién cosechado, se emplea menos calor y se disminuye el tiempo de cocción; sucede a la inversa si el grano es más viejo y seco. Las pérdidas de materia seca ascienden a aproximadamente el 15 por ciento, pero pueden variar entre el 8,9 y el 21,3 por ciento.

Cocción industrial en agua de cal

Diversos factores, como la migración del campo a la ciudad, hicieron surgir una demanda de tortillas cocinadas o precocidas. Se ideó el equipo necesario para transformar el maíz en bruto en maíz tratado con calor y, posteriormente, en masa y tortillas; y se inició luego la producción industrial de harina para tortilla en México y otros países. Poco después de la Segunda Guerra Mundial, la producción mecanizada de tortillas adquirió importancia en México. En las zonas urbanas hay dos variantes: la primera consiste en pequeñas industrias caseras de propiedad familiar que siguen el procedimiento descrito anteriormente, aunque también utilizan máquinas de mayores dimensiones para atender a un mercado relativamente más amplio. Esto ha sido posible gracias al empleo de molinos

rotatorios y del tortillero diseñado por Romero en 1908; dichas máquinas fueron sustituidas posteriormente por un modelo más eficiente, en el que se pasa la masa por un tambor metálico rotatorio que la corta en forma de tortillas; éstas caen a una cinta transportadora o sartén de cocción continua y desembocan en un receptáculo situado al final de la cinta. Esta pequeña industria puede utilizar harina industrial para tortillas o maíz integral, en cuyo caso la masa se cuece en receptáculos de grandes dimensiones.

La otra variante es la transformación industrial a gran escala del maíz en harina instantánea precocida para tortillas. El procedimiento, que ha sido descrito por diversos investigadores (p. ej., Deschamps, 1985), se basa en el método utilizado tradicionalmente en las zonas rurales. Más recientemente, se ha extendido el procedimiento de producción de harina a la producción de tortillas.

El comprador elige el maíz tras examinar su calidad y tomar muestras. Rechaza los lotes que tienen un porcentaje elevado de granos deteriorados y paga los que acepta según los defectos que presente el material en bruto. El maíz también se selecciona según su contenido de humedad, pues si el grano tiene mucha humedad planteará problemas de almacenamiento. Durante la fase de limpieza, se eliminan todas las impurezas, como suciedad, zuros y hojas. Una vez limpio, el maíz se

enviada a los silos y depósitos para su almacenamiento.

De ahí se transporta a las instalaciones de elaboración para su cocción en agua de cal, convirtiéndolo en nixtamal, ya sea en tandas o mediante un procedimiento de elaboración continua. Tras su cocción y macerado, el maíz tratado en agua de cal se lava con agua a presión o pulverización y se tritura hasta que forme una masa que se lleva a un secador y se convierte en harina basta. Dicha harina, formada por partículas de todos los tamaños, se pasa por un tamiz que separa las partículas gruesas de las finas. Las partículas gruesas regresan al molino para ser trituradas otra vez y las finas, que constituyen el producto acabado, se envían a las instalaciones de empaquetado, donde se empaquetan en bolsas de papel reforzado.

Una instalación completa de tratamiento debe tener maquinaria para realizar las siguientes operaciones: cocción en agua de cal, molienda, secado y cernido, así como una capacidad de producción diaria de 30 a 80 toneladas de harina. Estas cifras son el mínimo y el máximo; para aumentar su capacidad de producción, una empresa comercial debe instalar varias unidades paralelas, aunque el empleo de unidades de esas dimensiones suele deberse más a la tradición que a una exigencia técnica, pues sería perfectamente factible diseñar fábricas con una capacidad de producción inferior a 30 y superior a 80 toneladas al día. Al parecer,

no se consideran viables las fábricas de dimensiones muy grandes o muy reducidas.

El rendimiento industrial de la harina de maíz cocido en agua de cal fluctúa entre el 86 y el 95 por ciento, según el tipo del cereal, localidad de los granos enteros y las condiciones en que se realiza el tratamiento con cal. Los rendimientos industriales son más elevados que en el medio rural y en condiciones semiindustriales, gracias quizá a la calidad del grano elaborado.

La harina para tortilla es un polvo fino, seco, blanco o amarillento que tiene el olor característico de la masa de maíz. Dicha harina, mezclada con agua, proporciona una masa adecuada para elaborar tortillas, tamales, atoles (gachas espesas) y otros alimentos. En México todas las harinas de maíz deben fabricarse conforme a las instrucciones dictadas por el Departamento de Normas y Reglamentos.

Cuando la harina tiene un contenido de humedad del 10 al 12 por ciento, es estable frente a la contaminación microbiana. Si la humedad supera el 12 por ciento, la atacan con facilidad los mohos y la levadura. El problema del ataque por bacterias es casi inexistente dado que el mínimo de humedad que esos organismos necesitan para desarrollarse es tan elevado que, de alcanzarlo la harina, ya se habrá transformado en masa. Otra cuestión conexas con la estabilidad de la

harina es la ranciedad, que normalmente no constituye un problema salvo que se empaquete a altas temperaturas. El tiempo mínimo para que la harina se eche a perder en México es de cuatro a seis meses en invierno y de tres meses en verano. Por lo general, se vende al consumidor dentro de los 15 días siguientes a su venta a los comerciantes al por menor y al por mayor, mientras que su período de conservación en los anaqueles es de un mes (Del Valle, 1972).

Las tortillas a base de harina de maíz cocido en agua de cal se pueden producir en el hogar o en fábricas, tanto grandes como pequeñas, porque presentan grandes ventajas para ese tipo de confección aunque su empleo no está muy difundido en las zonas rurales.

En Guatemala, se elaboran anualmente cerca de 3 000 toneladas métricas de maíz para producir harina para tortillas, cantidad notablemente menor que en México, pues el número de habitantes y el de pequeñas fábricas de tortillas es mucho menor. Cerca del 90 por ciento de la producción se vende en las ciudades y el 75 por ciento de la harina se utiliza para hacer tortillas. También se produce harina de maíz cocido con agua de cal en Costa Rica y en los Estados Unidos. En Costa Rica, el consumo de tortillas por persona asciende a unos 25,6 kg por año. Aproximadamente el 62 por ciento de la producción es comercial, el 30,6 por ciento

casera a base de harina comercial y el 7,4 por ciento casera a partir de granos.

Modificaciones de la cocción en agua de cal

La manera tradicional de cocer el maíz en agua de cal para hacer tortillas en el medio rural requiere mucho tiempo (14615 horas) y mucho trabajo. Las operaciones de cocción y remojado toman entre el 70 y el 80 por ciento del tiempo. En cambio, la harina instantánea para tortillas ofrece muchas ventajas, como la comodidad, el menor trabajo requerido y un menor consumo de energía, dando un producto de confianza, estable y nutritivo. A nivel industrial o comercial, la molienda y la deshidratación son factores que influyen considerablemente en el costo. El maíz cocido en agua de cal contiene aproximadamente un 56 por ciento de humedad, que debe disminuir al 10-12 por ciento en la harina. Cualquier método que disminuya el tiempo y el costo y siga produciendo tortillas de calidad aceptable será, pues, ventajoso.

La cuestión ha sido estudiada por varios investigadores. Bressani, Castillo y Guzmán (1962) analizaron un procedimiento basado en la cocción bajo presión de 5 y 15 libras por pulgada cuadrada (0,35 y 1,05 kg por cm²) en condiciones secas y húmedas, durante 15, 30 y 60 minutos, sin emplear cal.

Ninguno de los tratamientos tuvo efecto alguno en la composición química y digestibilidad real de las proteínas, pero todos ellos disminuyeron la solubilidad del nitrógeno. La cocción bajo presión de 15 libras por pulgada cuadrada (1,05 kg por cm²) en condiciones secas disminuye la calidad nutritiva del producto, sobre todo cuando se lleva a cabo durante 60 minutos. El método de cocción bajo presión sin calor no redujo el contenido de fibras crudas, que es uno de los efectos concretos de la calor, y el contenido de calcio fue notablemente inferior al de la masa seca elaborada según el método tradicional.

Khan et al. (1982) compararon tres métodos: el tradicional, un método comercial y un procedimiento de cocción bajo presión en laboratorio. Aplicando cada uno de los procedimientos, se sometió el maíz a una subcocción, a una cocción óptima y a una sobrecocción, a fin de medir algunos de los cambios físicos y químicos que podían ocurrir. Aunque el método tradicional causó la mayor pérdida de materia seca del grano produjo las mejores tortillas por lo que se refiere a su textura, color y aceptabilidad. El procedimiento de cocción bajo presión dio una masa pegajosa y tortillas de aspecto desagradable. El método comercial resultó ser el que dio tortillas de aspecto menos apetitoso. Gracias a ese estudio, sus autores propusieron un método de evaluación de la cocción que permite verificar hasta qué punto ésta ha sido completada.

Bedolla et al. (1983) ensayaron diversos métodos de cocción del maíz y el sorgo así como de mezclas de ambos granos. Los métodos ensayados fueron el tradicional, la cocción al vapor conforme al método seguido por Khan et al. (1982) y un método en el que se emplea un sistema de reflujo (condensación). Hallaron que los métodos de cocción influyen en el total de materia seca que se pierde durante su transformación en tortillas.

La variación de las condiciones de cocción puede dar lugar a una disminución del tiempo de elaboración. Norad et al. (1986) hallaron que se podía disminuir en un 40 por ciento el tiempo de cocción si se maceraba el grano antes de la cocción en una solución de cal. Según esos estudios, con la cocción aumentan las pérdidas de materia seca, la absorción de agua, el contenido de calcio y el almidón sensible a las enzimas, a la vez que disminuye la viscosidad máxima en amilógrafo, tanto del maíz previamente macerado como del maíz crudo, pero la disminución de la viscosidad y el aumento de los demás parámetros tienen lugar con más rapidez en el maíz macerado.

También se han estudiado tratamientos con calor seco. Johnson, Rooney y Khan (1980) han analizado el procedimiento de micronización para producir harinas de sorgo y de maíz. La micronización es un procedimiento de calor seco en el que se

emplean generadores de rayos infrarrojos alimentados a gas. Se produce un calentamiento interno rápido, que cuece el producto del interior hacia afuera. Los investigadores utilizaron dicho procedimiento para producir harina de maíz y afirman que es más rápido y económico que el método tradicional.

Molina, Letona y Bressani (1977) ensayaron un procedimiento de producción de harina instantánea para tortillas mediante secado en tambor en una fábrica experimental; para esto mezclaron harina de maíz con agua en una proporción de 3: 1, añadiendo un 0,3 por ciento de cal sobre la base del peso de maíz. Una vez realizada la mezcla, se pasó la masa por un secador de doble tambor calentado con vapor a 15, 20 y 25 libras por pulgada cuadrada (1,05, 1,40 y 1,75 kg por cm²) a 93, 99 y 104°C de temperatura superficial y a 2, 3 y 4 rpm. El procedimiento produjo una harina instantánea con características físicoquímicas y organolépticas idénticas a las de la muestra de referencia elaborada según el método tradicional, pero que difieren de las de un producto comercial.

La cocción por extrusión también ha sido evaluado como tecnología para producir harina para tortillas. Bazua, Guerra y Sterner (1979), utilizando un extrusor Wenger 8-5, elaboraron maíz molido mezclado con diversas concentraciones de cal (de 0,1 por ciento a 1,0 por ciento). Tanto la masa como las tortillas elaboradas

mediante extrusión se compararon con las obtenidas según el procedimiento tradicional para determinar sus propiedades organolépticas así como su contenido de lisina, triptofano y proteínas. No se observaron diferencias apreciables a niveles comparables de utilización de hidróxido de calcio. Tanto el procedimiento tradicional como el por extrusión ocasionan pérdidas de triptofano que guardan cierta proporción con la cantidad de cal añadida. Con una adición de 0,2 por ciento, se perdía el 8 por ciento del triptofano, mientras que con un 1 por ciento de cal, se perdía más del 25 por ciento. Se observaron también algunas pérdidas de lisina. Los resultados organolépticos mostraron que se pueden elaborar tortillas de aspecto aceptable utilizando la extrusión en lugar de la cocción en agua de cal.

El maíz empleado para elaborar tortillas

La calidad del grano es un factor al que cada vez se da más importancia en los programas de selección cuya finalidad es aumentar la aceptación de las semillas mejoradas genéticamente, por parte de los agricultores, así como de los consumidores y elaboradores de alimentos. Las características cualitativas del grano comprenden el rendimiento, las propiedades tecnológicas y, en los casos en que resulta posible, los elementos nutritivos. Las propiedades tecnológicas

incluyen la estabilidad durante el almacenamiento, la eficiencia de transformación en productos en condiciones de elaboración dadas, y la aceptabilidad por parte del consumidor. El aspecto tecnológico de la calidad del maíz para tortillas tiene poca importancia para los pequeños agricultores de los países menos adelantados, pues rara vez emplean otra semilla que la que guardan en el período entre dos cosechas; además, las amas de casa campesinas saben adaptar las condiciones de la cocción al tipo de maíz que consumen. Hoy en día, sin embargo, se transforma el maíz en harina para tortillas mediante procedimientos industriales, y el grano utilizado puede proceder de productores de distintas variedades que han cultivado la planta en entornos diferentes; el grano puede presentar estructuras diversas o no haber sido bien manipulado tras la cosecha, factores que influyen en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y culinarias del producto. Todos estos factores tienen cada vez más importancia en países como los Estados Unidos, donde la tortilla de maíz es un alimento cada día más difundido.

La importancia de las características físicas del maíz se puso de manifiesto hace algún tiempo, cuando Bressani, Paz y Paz y Scrimshaw (1958) demostraron que el rendimiento de la masa o harina de maíz seco que se puede obtener depende del cultivar o variedad del cereal. Esos investigadores mostraron -a partir de

estudios en hogares campesinos- que las pérdidas de materia seca del maíz blanco ascendían por término medio al 17,2 por ciento, con una variabilidad de 9,5 a 21,3 por ciento. En cuanto al maíz amarillo, las pérdidas de materia seca ascendían como promedio al 14,1 por ciento, con una variabilidad que iba del 8,9 al 16,7 por ciento.

Cortez y Wild-Altamirano (1972) llevaron a cabo una serie de mediciones de 18 cultivares de maíz producidos en México. Las mediciones comprendieron el peso del grano, el color y el tiempo de cocción en agua de cal empleando un procedimiento estándar con 1,5 por ciento de cal a 80°C y un tiempo de maceración de 12 horas. Se midió la eficiencia y el tiempo de cocción por la facilidad con que se podía desprender la cubierta seminal. Las evaluaciones del maíz cocido consistieron en medir el volumen de 1 kg de maíz, el rendimiento de masa de 1 kg de grano y el contenido de humedad de la masa. Además, se evaluó la masa midiendo su resistencia y su absorción de agua. La masa deshidratada fue molida a continuación hasta obtener granulos que pasaran por tamices de 60 mallas por pulgada y se evaluaron la humedad, el color, el volumen específico y otras características físicas utilizando un mixógrafo. A continuación, se evaluaron la elasticidad, el volumen, la plasticidad, la suavidad y la aspereza superficial de las tortillas elaboradas con la masa de cada muestra de maíz.

Los autores de este amplio estudio concluyeron que las variedades de maíz o los cultivares de mayor peso por volumen, endospermo más duro y contenido elevado de proteínas producen las mejores tortillas. Dos cultivares de maíz reventador figuraban entre los tipos más adecuados para tortillas. El mixógrafo Swanson resultó útil también para determinar las diferencias existentes entre los distintos tipos de maíz. El tiempo necesario para cocer las muestras varió de 30 a 75 minutos y las pérdidas de materia seca fueron de 10 a 34 por ciento. Rooney y Serna-Saldívar (1987) hallaron que el maíz de endospermo duro o cerneo necesitaba más tiempo de cocción. Bedolla y Rooney (1984) afirmaron que en la textura de la masa influyen la textura y el tipo del endospermo, el secado, el almacenamiento y el estado general del grano de maíz. Martínez-Herrera y Lachance (1979) establecieron una relación entre la dureza del grano y el tiempo necesario para la cocción. Según ellos, en una misma variedad de maíz una concentración más elevada de hidróxido de calcio disminuye ligeramente el tiempo de cocción. Además, conocer la dureza inicial de una variedad permite predecir el tiempo necesario para cocerla. Khan et al. (1982) y Bedolla y Rooney (1982) midieron un parámetro al que denominaron tuerza de cisión del nixtamal (FCN), que indica la dureza del grano. La medición se refería al tiempo de cocción y al método de elaboración. Dichos investigadores demostraron que la medición de la FCN servía para detectar pequeñas diferencias en los tipos de maíz cuyo

endospermo era de textura similar, y que se podía utilizar para establecer el tiempo óptimo de cocción.

Las pérdidas de materia seca debidas a la cocción en agua de cal son un buen índice de la calidad del maíz para tortillas, y Jackson et al. (1988) determinaron que se producían más pérdidas en los granos quebrados por la tensión y rotos, que entre los granos enteros, de lo que dedujeron que cualquier método de evaluación del maíz para la cocción en agua de cal debería incluir la cantidad de granos quebrados, las posibilidades de ruptura y la facilidad de desprendimiento del pericarpio. No hay muchos estudios específicos acerca de las consecuencias del secado y el almacenamiento en la calidad del maíz para tortillas. Bressani et al. (1982) analizaron el almacenamiento del MPC en relación con la calidad de las tortillas. Para esto, granos de la variedad MPC Nutricia fueron almacenados en distintas condiciones de campo. Los recipientes confeccionados con telas no tratadas con insecticidas no impidieron que se produjese una infestación de insectos y, por consiguiente, mayores pérdidas de materia seca durante la cocción, aunque eso no influye en la calidad de las proteínas.

Posiblemente el elemento principal de la transformación del maíz en tortillas es el empleo de un medio alcalino, el hidróxido de calcio. La consecuencia más

evidente de la adición de cal es que facilita la separación de la cubierta seminal durante la cocción y la maceración. Según Trejo González, Feria-Morales y WildAltamirano (1982), la adición de cal mantiene un pH alcalino, el cual es necesario para hidrolizar las hemicelulosas del pericarpio. El grano lo absorbe después del agua, pero a un ritmo menor. Norad et al. (1986) demostraron que si se maceraban los granos antes de la cocción, se conseguía un contenido más elevado de calcio en el grano. El contenido de calcio de la masa variaba según los niveles de cal, y también conforme a las temperaturas de la cocción y la maceración. Otros autores (p. ej., Pflugfelder, Rooney y Waniska, 1988a) han demostrado que la absorción de cal durante la cocción en agua de cal depende de las características físicas y químicas de la masa de maíz.

Según Martínez-Herrera y Lachance (1979), concentraciones mayores de hidróxido de calcio disminuyen levemente el tiempo de cocción, pero las diferencias no eran estadísticamente significativas. Dichos investigadores descubrieron también una interacción entre la variedad del maíz y la concentración de hidróxido de calcio; el valor elevado del coeficiente de variación (29,1 por ciento) fue atribuido a la variabilidad inherente a los granos de las distintas variedades.

Según Bedolla y Rooney (1982), el aumento del tiempo de cocción, de la temperatura de cocción, de la concentración de cal y del tiempo de maceración daban lugar a menores viscosidades máximas medidas con el viscosímetro, a 95 y 50 °C, lo que se interpreta como una mayor gelatinización del almidón. Trejo González, Feria-Morales y Wild-Altamirano (1982) demostraron que el calcio era fijado o estaba ligado de algún modo al almidón del grano de maíz. Otras consecuencias eran: mayores pérdidas sólidas conforme aumentaba la cal, cambios de color, aroma y sabor, así como un retraso en la aparición de acidez, lo que aumentaba el período de conservación. Si se añade en cantidades muy grandes, la cal afecta a las propiedades organolépticas del alimento, hecho que se ha observado a menudo cuando se ha almacenado el maíz durante largo tiempo.

Preparación del ogi y otros productos de maíz fermentado

En distintas regiones del mundo, sobre todo en los países en desarrollo, en los que forman parte de la dieta básica, se preparan gachas ácidas a partir de cereales. Algunos ejemplos son el pozol de México y Guatemala, el ogi de Nigeria, el uji de Kenya y el kenkey de Ghana, que normalmente se elaboran con maíz crudo fermentado o maíz tratado con calor, aunque también se usan a menudo sorgo y mijo.

Elaboración del ogi

Las maneras tradicionales de elaborar el ogi difieren ligeramente entre si y han sido descritas por diversos investigadores; se prepara tradicionalmente en tandas en pequeña escala dos o tres veces por semana, según las necesidades. El grano limpio se remoja en agua de uno a tres días para ablandarlo. Una vez ablandado, se tritura con una muela, se machaca en un mortero o se muele en un molinillo eléctrico. Se tomiza el salvado y se eliminan los endospermos lavándolo con mucha agua. También se separa parte del germen en esa misma operación. Se deja que el producto filtrado fermente de 24 a 72 horas con lo que se obtiene una lechada que, una vez cocida, da las gachas de ogi. Normalmente, el ogi se comercializa en forma de bizcocho húmedo envuelto en hojas de plantas o diluido en agua en forma de sélido al 8 o 10 por ciento y cocido en papilla u horneado hasta formar un gel rígido.

Según Akinrele (1970), el maíz se agria espontáneamente sin necesidad de añadir inoculantes ni enzimas. Este investigador detectó los organismos que intervienen en esa fermentación natural e investigó sus efectos sobre el valor nutritivo del alimento; los mohos son de las especies *Epholsporium* *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium* y las bacterias aeróbicas pertenecen a las especies

Corynebacterium y Aerobacter, en tanto que la principal bacteria del ácido láctico que halló fue Lactobacillus plantarum. También había levaduras: Candida mycoderma, Saccharomyces cerevisiae y especies de Rhadotorula.

Aunque se cree que el ogí tiene un gran contenido de vitamina B, los resultados observados son muy variables, al menos por lo que se refiere a la tiamina, la riboflavina y la niacina. Los ácidos carboxílicos de la fermentación fueron detectados por Banigo y Muller (1972), quienes hallaron 11 ácidos, de los cuales los más importantes eran el ácido láctico y los ácidos acético y butírico.

La fabricación de ogí es muy complicada y se puede utilizar sorgo, arroz o mijo en lugar de maíz. Se han ideado métodos de laboratorio para analizar más a fondo el procedimiento e introducir cambios para mejorar la eficacia de la transformación de los granos en alimento. Esos métodos han sido descritos por Akingbala, Rooney y Faubion (1981) y Akingbala et al. (1977), estudios que han resultado útiles también para evaluar la eficacia en la fabricación de ogí de distintas variedades de granos de cereal. Los autores citados han analizado también el rendimiento de ogí de los granos de maíz integral (79,1 por ciento) y de la harina de mijo seco (79,8 por ciento).

La manufactura comercial de ogi no se diferencia en lo esencial del método tradicional, aunque se han introducido algunas modificaciones como la molienda en seco del maíz para obtener una harina fina y la inoculación posterior de la mezcla de harina y agua con un cultivo de lactobacilli y levadura. Habida cuenta de la importancia del ogi en la dieta nigeriana, lo indicado es su producción en gran escala. La materia se puede secar y empaquetar en bolsas de polietileno, que permiten un período aceptable de conservación, sin embargo la fermentación controlada de cultivos puros presenta algunos problemas, por lo que se han propuesto algunas modificaciones consistentes en secar la lechada mediante pulverización o mediante el secado en tambor.

Otros productos del maíz fermentado

El ogi se denomina con otros nombres, como akamu o ekogbona, agidi y eko tutu. Todos éstos, junto con el uji keniano y el koko de Ghana, son en lo esencial la misma preparación, con cambios en el grano utilizado o alguna pequeña modificación del método básico. En cuanto al pozol mexicano, el maíz se procesa con cal, igual que las tortillas. El nixtamal, o maíz cocido sin la envoltura seminal, se tritura para formar una masa basta con la que se hacen manualmente unas pequeñas pelotas que se envuelven luego en hojas de banano para evitar que

se sequen y se dejan fermentar por dos o tres días, o más si es necesario. En este procedimiento intervienen múltiples microorganismos.

Preparación de arepas

Otro alimento importante a base de maíz, de consumo diario en Colombia y Venezuela, es la arepa. Mosqueda Suárez (1954) y Cuevas, Figueroa y Racca (1985) han descrito el método tradicional seguido en Venezuela. De Buckle et al. (1972) han definido la arepa colombiana como un pan de maíz tostado sin levadura, de forma redondeada y que se prepara con cereal degerminado. El maíz entero es descascarado y degerminado utilizando un pilón y un mazo de doble cabeza, ambos de madera. El maíz humedecido se tritura hasta que se separa la cáscara y parte del germen del endospermo. La cáscara y el germen se eliminan luego añadiendo agua a la mezcla que contiene el endospermo. Este se cuece y luego se muele para preparar la masa. Con porciones pequeñas de la masa se hacen unas pelotas que luego se aplastan formando discos planos que se tostan rápidamente por ambos lados.

La forma tradicional de preparar las arepas se ha modificado radicalmente con la introducción de la harina de maíz precocida, que, como han demostrado Cuevas'

Figuroa y Racca (1985), ha reducido el tiempo necesario de 7-12 horas a 30 minutos. El procedimiento industrial consta de dos fases: la primera consiste en limpiar, descascarar y degerminar el maíz para preparar la semola; la segunda, en elaborar la semola para producir harina precocida. Se ha intentado modificar aún más este método mediante la cocción por extrusión.

Otras preparaciones a base de maiz

En América Latina hay muchos alimentos a base de maíz además de las tortillas y las arepas. Algunos son bebidas, como los colados, el pinol y el macho, que consisten fundamentalmente en harina de maíz cocida en suspensión y que tienen una calidad proteínica bajísima. La producción de humitas, alimentos parecidos a los tamales, que se consumen en Bolivia y Chile, ha sido descrita por Camacho, Baños y Fernández (1989): las humitas se elaboran con harina de maíz precocida que se asemeja a la masa tratada con cal, empleando maíz comestible u opaco-2 no madurado, al que se añaden otros ingredientes. Otros productos son el mote, elaborado con maíz cocido y queso, las puposas, que se hacen con maíz tratado con cal y queso; y la patasca, que es similar al grano de maíz tratado con cal. Con maíz no madurado se prepara el atole, dulce y sabroso y de elevado valor nutritivo. Khan y Bressani (1987) han descrito su fabricación,

que consiste en moler el maíz en agua y luego filtrarlo y cocerlo. También se consume en gran cantidad el maíz verde, ya sea como nopal u opaco-2 o maíz dulce. Según Chávez y Obregón (1986), la incorporación del gen opaco-2 al maíz dulce proporciona un alimento de elevada calidad nutritiva.

También se ha utilizado el maíz como base para bebidas fermentadas denominadas chichas. Cox et al. (1987) han analizado la microflora de esos productos fermentados, que se hacen con un procedimiento fundamentalmente idéntico, pero empleando diversos aditivos.

Molienda

El grano de maíz se transforma en alimentos y productos industriales útiles mediante dos procedimientos: la molienda en seco y la molienda húmeda. Con la primera se extraen, como productos primarios, semolinas y harinas corrientes y finas. La segunda produce almidón y otros útiles productos derivados.

Molienda en seco

La molienda del maíz en seco tal como se practica hoy en día tiene su origen en

las técnicas utilizadas por las poblaciones autóctonas que domesticaron la planta. El mejor ejemplo es la técnica empleada para hacer harina de arepas o semola de maíz molido. La antigua técnica fue sustituida al cabo de poco por una muela, o piedra de moler, a la que siguieron el molinillo de semola y, por último, métodos perfeccionados de ablandamiento y degerminación. Los productos derivados son muy numerosos y su variedad depende en gran medida del tamaño de las partículas. Se clasifican en semolas en escamas, semolas gruesas, semolas normales, harina de maíz, conos y harina fina de maíz, en tamaños de 3,5 a 60 mallas por pulgada. Su composición química ha sido perfectamente determinada y tienen múltiples aplicaciones entre ellas la fabricación de bebidas y la elaboración de alimentos ligeros y cereales para desayuno.

Molienda húmeda

La mayor parte de la producción de maíz de los países desarrollados como los Estados Unidos, se procesa mediante molienda húmeda para obtener almidón y otros subproductos valiosos, como gluten y piensos. El almidón es materia prima de una amplia gama de productos alimentarios y no alimentarios. Su elaboración consiste fundamentalmente en utilizar maíz limpio que se macera en agua en condiciones cuidadosamente controladas para ablandar los granos; a continuación

se muele y se separan sus elementos mediante tamizado, centrifugación y lavado para obtener almidón del endospermo, aceite del germen y productos alimentarios de los residuos. El almidón se utiliza industrialmente como tal y también para producir alcohol y edulcorantes alimentarios, ya sea por hidrólisis ácida o enzimática. Esta última se realiza mediante amilasa-alfa, glucoamilasas, amilasa-beta y pululanasa de bacterias o de hongos. Se liberan los sacáridos de diversos pesos moleculares produciendo edulcorantes con diferentes propiedades funcionales: dextrosa líquida o cristalina, jarabes de maíz con elevada proporción de fructosa, jarabes ordinarios de maíz y maltodextrinos, los que tienen múltiples aplicaciones en la elaboración de alimentos.

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

[Home](#):81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Capítulo 5 Cambios físicos y químicos durante la elaboración

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiete](#)

Maiz tratado con cal

Cambios químicos

La transformación del maíz en tortillas requiere un proceso en el que se utiliza agua, calor e hidróxido de calcio. Estos tres elementos influyen en la composición química del maíz elaborado, dando lugar a modificaciones en su contenido de nutrientes. Los cambios se deben a las pérdidas materiales de grano y a las pérdidas químicas, que pueden derivar de la destrucción de algunos elementos nutritivos y de la transformación química de otros.

En el Cuadro 16 se muestra la composición aproximada del maíz en bruto y de las tortillas caseras así como de las elaboradas industrialmente. Se exponen los cambios en el contenido de grasas y fibras crudas y en algunos casos un aumento del contenido de cenizas. Los valores correspondientes a las tortillas tanto de producción casera como industrial- son relativamente constantes para la mayoría de los elementos químicos, salvo las grasas, que presentan valores más elevados en las tortillas industriales.

Pérdidas de materia seca

A partir de estudios sobre la cocción de maíz por amas de casa del campo que aplicaban sus propios métodos tradicionales, Bressani, Paz y Paz y Scrimshaw (1958) determinaron una pérdida de sólidos (17,1 por ciento en el maíz blanco y 15,4 por ciento en el maíz amarillo) durante la transformación del maíz en masa. Bedolla y Rooney (1982) hallaron pérdidas del 13,9 por ciento y del 10 por ciento respectivamente en el maíz blanco y amarillo aplicando el procedimiento tradicional, y del 7 y 5,7 por ciento en la cocción a vapor.

CUADRO 16 - Composición aproximada del maíz en bruto y de las tortillas de fabricación casera e industrial

En otros estudios en que se evaluaron variaciones de la técnica de elaboración, Khan et al. (1982) hallaron pérdidas del 7 al 9 por ciento en la elaboración comercial, del 9 al 11 por ciento en la cocción a presión y del 11 al 13 por ciento aplicando el método tradicional. Según estos investigadores, las pérdidas de materia seca aumentaban en proporción al aumento del tiempo de cocción. De igual modo, la integridad del grano de maíz influye en las pérdidas. Según Jackson et al. (1988), las pérdidas de materia seca con el procedimiento tradicional

de cocción eran mayores en los granos quebrados (10,8 a 12,1 por ciento) que en los enteros (6,3 a 8,9 por ciento). Además de la integridad del grano y del método de cocción empleado, otros factores como la duración del remojo influyen en las pérdidas de materia seca; las pérdidas son mayores cuanto más prolongado sea éste. El MPC de endospermo duro se comporta de modo similar al maíz común por lo que se refiere a las pérdidas de materia seca. Bressani et al. (1990) hallaron pérdidas del 17,1 por ciento en la variedad MPC Nutricia, frente al 17,6 por ciento en un maíz blanco. Sproule et al. (1988) constataron una pérdida de materia seca del 9,6 por ciento en el MPC, frente al 10,4 por ciento en el maíz común.

Las pérdidas de materia seca dependen pues de diversas variables, como el tipo de maíz (endospermo duro o blando), la integridad del grano (granos enteros o quebrados), el método de cocción (tradicional, al vapor, bajo presión o comercial), la cantidad de cal empleada, el tiempo de cocción y el tiempo de remojo, así como otras operaciones, como el tratamiento para eliminar la cubierta seminal durante el lavado de los granos. Este tratamiento también elimina otras partes del grano: la piloriza y posiblemente la capa de aleurona así como pequeñas cantidades de germen. Paredes-López y Saharopulus-Paredes (1983) utilizaron un microscopio electrónico con barrido para mostrar que la superficie

exterior del maíz tratado con cal presentaba un considerable deterioro estructural. Indicaron que la capa de aleurona y algunos estratos del pericarpio se conservaban y que el germen permanecía sujeto al endospermo. Gómez et al. (1989) han observado que se producen importantes cambios estructurales en el maíz en el curso de la nixtamalización. Notaron que en este proceso la cal debilita las paredes celulares, facilitando así la eliminación del pericarpio; asimismo solubiliza la pared celular del endospermo periférico, da lugar a una hinchazón y destrucción parcial de los granos de almidón y modifica la apariencia de los cuerpos proteicas. La masa obtenida contiene fragmentos de germen, pericarpio, aleurona y endospermo, así como almidón libre y lípidos disueltos. Algunos de los cambios químicos observados se pueden atribuir a los compuestos químicos presentes en esas tres o cuatro partes del grano. El contenido de materia seca ha sido analizado por Pflugfelder, Rooney y Waniska (1988a), quienes hallaron un 64 por ciento de polisacáridos no amiláceos (fibra), un 20 por ciento de almidón y un 1,4 por ciento de proteínas.

Pérdidas de nutrientes

Existen pocos estudios acerca de las pérdidas de nutrientes durante la transformación del maíz en tortillas, pese a que la elaboración da lugar a

cambios considerables (Cravioto et al., 1945; Bressani, Paz y Paz y Scrimshaw, 1958). En ella se produce una pérdida de sustancias extraíbles con un 33 por ciento en el maíz amarillo y 43 por ciento en el maíz blanco de difícil explicación, aunque se puede atribuir parcialmente a la pérdida del pericarpio, la capa de aleurona, la piloriza y de parte del germen, partes del grano que contienen sustancias extraíbles con un 33 por ciento. Se ha establecido que las pérdidas de fibra cruda ascienden aproximadamente al 46 por ciento en el maíz y al 31 por ciento en el maíz amarillo. El tratamiento con cal a 96°C durante unos 55 minutos hidroliza el pericarpio, que se elimina durante el lavado, arrastrando con él la piloriza, a lo que cabe atribuir en gran medida las pérdidas de fibra. Las pérdidas de nitrógeno ascienden a aproximadamente 10 y 5 por ciento en el maíz blanco y en el amarillo, respectivamente. También en este caso pueden deberse parcialmente a las pérdidas materiales del pericarpio y la piloriza. Aunque las tortillas puedan tener, a humedad igual, un contenido ligeramente superior de proteínas que el maíz original, -como han determinado varios investigadores- este hecho puede deberse al efecto de concentración dado que se pierden azúcares solubles del grano. El contenido de cenizas aumenta por la absorción de cal, que da lugar a un aumento considerable del contenido de calcio (Saldana y Brown, 1984; Ranhotra, 1985). Pérdidas significativas se dan en el contenido de tiamina (52 a 72 por ciento), riboflavina (28 a 54 por ciento) y niacina (28 a 36 por ciento). En el maíz amarillo,

se pierde del 15 al 28 por ciento del caroteno (Cravioto et al., 1945; Bressani, Paz y Paz y Scrimshaw, 1958).

Grasas y ácidos grasos. Bressani. Paz y Paz y Scrimshaw (1958) hallaron sustancias extraíbles con éter con valores del 33 y 43 por ciento en el maíz amarillo y blanco, respectivamente, elaborados en hogares campesinos guatemaltecos. Pflugfelder, Rooney y Waniska (1988b) comprobaron pérdidas del 11,8 al 18,1 por ciento e indicaron que se podían deber parcialmente a la energética manipulación del maíz cocido en las fábricas. Del 25 al 50 por ciento de los lípidos de la masa eran libres y parcialmente emulsionados. Según Bedolla et al. (1983), los valores de extracto etéreo ascendían a 5,0, 3,1 y 3,6 por ciento en el maíz crudo, el maíz cocido y las tortillas, respectivamente, lo que equivalía a aproximadamente un cambio del 28 por ciento.

[CUADRO 17 - Contenido de ácidos grasos del maíz común, MPC y las respectivas tortillas \(%\)](#)

Esta pérdida no ha sido explicada exhaustivamente, si bien puede deberse a la pérdida de la cubierta seminal, la piloriza, la capa de aleurona y, posiblemente, parte del germen; asimismo, a las sustancias solubles en éter, que no son

necesariamente grasas. Aunque durante el proceso de transformación del maíz en tortillas se pierden sustancias extraíbles con éter, la distribución de los ácidos grasos no cambia en el maíz comestible ni en el MPC, como se ve en el Cuadro 17. Se han hallado diferencias relativamente mayores entre diversas muestras de maíz, sin tratar o elaboradas, que entre el maíz crudo y las tortillas, lo que indica que el método de cocción en agua de cal no modifica la distribución de ácidos grasos.

Contenido de fibras. El contenido de fibra cruda -determinado conforme a la metodología de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) disminuye cuando se transforma el grano en tortillas. Diversos investigadores (p. ej., Saldana y Brown, 1984) han explicado cómo y por qué tiene lugar esa pérdida. Reinhold y García (1979), aplicando la metodología de Van Soest, que es más moderna, hallaron un aumento importante de fibra neutrodetergente (FND) y de fibra ácidodetergente (FAD) en las tortillas, del 6,60 y 3,75 por ciento sobre el peso en seco, respectivamente. Dichos valores difieren radicalmente de los hallados en la masa, que eran en promedio 5,97 y 2,98 por ciento, respectivamente. No se halló diferencia alguna en lo que respecta a la hemicelulosa: la masa contiene un 3,18 por ciento y las tortillas un 2,89 por ciento. Empleando ese mismo método.

CUADRO 18 - Fibra dietética del maíz comen, MPC y tortillas (%)

Bressani, Breuner y Ortiz (1989) hallaron un 10,8 por ciento de FND en el maíz y un 9 por ciento en las tortillas, así como un 2,79 por ciento y un 3 por ciento de FAD, respectivamente. El maíz contenía un promedio de 8 por ciento de hemicelulosa y las tortillas 6 por ciento, en tanto que los valores de la lignina eran el 0,13 y el 0,15 por ciento. Estos y otros valores figuran en el Cuadro 18. Empleando el método de Asp et al. (1983), Acevedo y Bressani (1990) han hallado una disminución de fibra insoluble en la transformación del maíz crudo (13 por ciento) en masa (6 por ciento) y un aumento en la transformación de masa en tortillas (7 por ciento). La fibra soluble aumentó del 0,88 por ciento en el maíz crudo al 1,31 por ciento en la masa, con un aumento ulterior a 1,74 por ciento, en las tortillas. La disminución debida a la transformación del maíz crudo en masa se debe a la pérdida de la cubierta seminal. El aumento al transformar la masa en tortillas puede deberse, en cambio, a la reacción de dorado, que ha sido estudiada para productos de trigo horneado (Ranhotra y Gelroth, 1988).

CUADRO 19 - Contenido de minerales del maíz en bruto y de muestras de tortillas caseras e industriales (mg/100 g)

Cenizas. Los investigadores no han prestado mucha atención a los cambios en el contenido de cenizas, si bien la mayoría de los estudios realizados han puesto de manifiesto un aumento del contenido total de cenizas en la transformación del maíz en tortillas, como cabría esperar por la cal que se utiliza para la cocción. Junto a este se da otro aumento importante del contenido de calcio. Según Pflugfelder, Rooney y Waniska (1988b), en el contenido de calcio de la masa influyen los niveles de cal, las temperaturas de cocción y remojo y las características del maíz. Los cambios del contenido de otros minerales varían y dependen posiblemente de la pureza de la cal empleada y del tipo de aparato de molienda utilizado. En un estudio (Bressani, Breuner y Ortiz, 1989; Bressani et al., 1990), el contenido de magnesio pasó del 8 al 35 por ciento del maíz a la tortilla; el de sodio no experimentó cambio alguno y se advirtió una pequeña disminución del de potasio. También aumentaron los valores del contenido de hierro, aunque posiblemente se deba a la contaminación. Asimismo, aumentó el contenido de fósforo entre el maíz y la tortilla, según diversas investigaciones (Cuadro 19). De interés para los estudios de nutrición es el hecho de que la proporción entre el calcio y el fósforo, que es de 1:20 aproximadamente en el maíz, pasa a ser casi 1:1 en la tortilla.

Hidratos de carbono. El maíz y las tortillas contienen cantidades considerables de

hidratos de carbono solubles, pero se conoce muy poco acerca de su variación durante el proceso de cocción en agua de cal. Se han detectado pérdidas de almidón de aproximadamente el 5 por ciento, que se recuperan en los sólidos perdidos. También se constata una disminución del azúcar, que pasa del 2,4 por ciento en el maíz al 0,34 por ciento en las tortillas. Robles, Murray y Paredes-López (1988) determinaron que la cocción en agua de cal y la maceración del maíz daban lugar a aumentos considerables de viscosidad y que el tiempo de cocción influye notablemente en las propiedades del empastado, aunque no se daba una gelatinización difundida del almidón. Los estudios calorimétricos mediante exploración diferencial mostraron endotermias de gelatinización similares en el maíz sin tratar y en las harinas de nixtamal. A mayor tiempo de cocción, mayor es la cantidad de almidón sensible a las enzimas.

Proteínas y aminoácidos. Según la mayoría de los investigadores, el proceso de cocción en agua de cal aumenta ligeramente el contenido de nitrógeno, debido al efecto de concentración. La solubilidad de todas las fracciones proteicas disminuye con la transformación del maíz crudo en tortillas, con un aumento de la fracción insoluble.

Bressani y Scrimshaw (1958) extrajeron el nitrógeno del maíz crudo y las tortillas

mediante agua, cloruro de sodio, alcohol al 70 por ciento e hidróxido de sodio. La solubilidad de las fracciones proteicas solubles en agua, sal y alcohol disminuye considerablemente, resultando las proteínas solubles en alcohol las más afectadas. Solo se detecta una pequeña disminución, aproximadamente del 13 por ciento, de la solubilidad de la fracción soluble en cal; por esta razón, la fracción de nitrógeno insoluble aumenta del 9,4 por ciento en el maíz al 61,7 por ciento en las tortillas.

Ortega, Villegas y Vasal (1986) observaron cambios similares en el maíz común y en el MPC, utilizando la técnica de fraccionamiento de proteínas de LandryMoureaux (1970). La solubilidad de las zeinas verdaderas disminuye en un 58 por ciento en las tortillas preparadas con maíz común y en un 52 por ciento en las tortillas a base de MPC. Los autores señalaron que en el cambio observado de la solubilidad de las proteínas podían haber intervenido interacciones hidrofóbicas. Sproule et al. (1988) observaron una disminución de la albúmina más globulinanitrógeno, expresada en porcentaje sobre el total de nitrógeno, en la transformación del maíz en tortillas.

Los cambios del contenido de aminoácidos en la transformación del maíz en tortillas se resumen en el Cuadro 20.

Diversos estudios enzimáticos *in vitro* de los aminoácidos indican que el nitrógeno total y el nitrógeno alfa-amino se desprenden más rápidamente del maíz que de las tortillas. Se observó que si el nitrógeno alfa-amino liberado se expresaba en forma de porcentaje respecto del desprendimiento total de nitrógeno, los valores de las tortillas, al cabo de 12 horas de hidrólisis con pepsina, eran superiores a los observados en el maíz en bruto. El porcentaje de N alfa-amino sobre el total era similar en el maíz y en las tortillas al cabo de 60 horas de hidrólisis con tripsina y pancreatina. Tras 60 horas de hidrólisis con pepsina, tripsina y pancreatina, el porcentaje de aminoácidos enzimáticos liberados con respecto a los aminoácidos hidrolizados *in vivo* mostró un desprendimiento superior en las tortillas que en el maíz. Esta información fue registrada hasta las 36 horas de hidrólisis para la mayoría de los aminoácidos, excepto leucina, fenilalanina, triptofano y valina, que se desprendieron aproximadamente a idéntico ritmo. A las 60 horas de hidrólisis, las concentraciones de aminoácidos entre el hidrolizado del maíz y el de tortilla alcanzaron niveles comparables, con excepción de la metionina (Bressani y Scrimshaw, 1958). Estos autores detectaron pérdidas de arginina (18,7 por ciento), histidina (11,7 por ciento), lisina (5,3 por ciento), leucina (21 por ciento), cistina (12,5 por ciento) y pequeñas pérdidas en el caso del ácido glutámico, prolina y serina.

Sanderson et al. (1978) detectaron pequeñas pérdidas de arginina y cistina a causa del tratamiento en agua de cal en el maíz comen y en el maíz con elevado contenido de lisina. Los mismos investigadores hallaron 0,059 y 0,049 g por cada 100 g de proteínas de lisinoalanina en el maíz comen y en el maíz con elevado contenido de lisina, respectivamente, pero ninguna en el maíz sin tratar. En la masa comercial, hallaron 0,020 g de lisinoalanina por cada 100 g de proteínas, y en las tortillas 0,081 g por cada 100 g de proteínas.

Lunven (1968), utilizando una técnica propia de análisis de los aminoácidos por cromatografía de columna, ha observado una pérdida importante de lisina y triptofano durante el tratamiento del maíz comen en agua de cal. Ortega, Villegas y Vasal (1986) hallaron una pequeña pérdida de triptofano en las tortillas de maíz comen (11 por ciento) y de MPC (15 por ciento).

[CUADRO 20 - Variaciones de los aminoácidos durante la cocción alcalina del maíz \(9/16 9 N\)](#)

En cambio, detectaron pérdidas mínimas de lisina en ambos tipos de maíz, de magnitud similar a las registradas anteriormente. Bressani et al. (1990) han observado pérdidas más elevadas de ambos aminoácidos en el maíz comen y

en el MPC Nutricita transformado en tortillas mediante procedimientos de elaboración tradicional campesina. Ortega, Villegas y Vasal (1986) han indicado también que, dadas las pequeñas pérdidas de lisina del producto alcalino, probablemente habrá cantidades mínimas de lisinoalanina en las tortillas de maíz común y MPC empleadas en su experimento.

CUADRO 21 - Contenido de vitaminas del maíz en bruto y las tortillas (mg/100 g)

Vitaminas. Pérdidas de tiamina, riboflavina, niacina y caroteno tuvieron lugar durante la transformación del maíz en tortillas por cocción en agua de cal. En el Cuadro 21 se resumen algunos datos al respecto. La vitamina que ha despertado la atención de diversos investigadores ha sido la niacina, por sus relaciones con la pelagra. Las repercusiones biológicas del proceso de cocción en agua de cal en la asimilación de niacina y en la pelagra se examinarán en la sección siguiente, mientras que en ésta se tratarán los cambios de concentración de la niacina a que da lugar la cocción en agua de cal. Bressani, Gómez-Brenes y Scrimshaw (1961) hallaron que la cubierta seminal del maíz contenía 4,2 mg de niacina por cada 100 g, mientras que en el germen y el endospermo ascendía a unos 2 mg por cada 100 g. Aproximadamente el 79,5 por ciento de la niacina del grano correspondía al endospermo y cantidades iguales del 10 por ciento al germen y a la cubierta

seminal. Tras la cocción en agua de cal, el endospermo aportaba aproximadamente el 68 por ciento del total de niacina y el germen cerca del 5,5 por ciento. Después de la cocción, se halló un 26 por ciento del total en el agua de cocción. La cantidad de niacina extraída con el agua representaba el 68,5 por ciento del total en el grano en bruto, y el 76 por ciento del total en el maíz cocido en agua de cal. Además, la hidrólisis enzimática con pepsina produjo el 69 por ciento de la niacina de todas las muestras y, después de la hidrólisis con tripsina y pancreatina, se obtuvieron rendimientos del 78 y 100 por ciento de la niacina, respectivamente. Estos datos se interpretaron en el sentido de que la cantidad de niacina asimilable que contiene el maíz tratado en agua de cal es ligeramente superior a la del maíz en bruto.

Disponibilidad de nutrientes

El proceso de cocción alcalina para transformar el maíz en tortillas produce algunas pérdidas considerables de elementos nutritivos, y también modifica notablemente su disponibilidad.

Calcio. La utilización de hidróxido de calcio en la transformación del maíz en tortillas aumenta considerablemente (hasta en un 400 por ciento) el contenido de

calcio del producto. Diversos estudios de biodisponibilidad llevados a cabo con animales por Braham y Bressani (1966) mostraron que había menos calcio disponible en el maíz tratado en agua de cal (85,4 por ciento) que en la leche desnatada (97 por ciento). La biodisponibilidad del calcio aumentó cuando se suplementó el maíz tratado en agua de cal con sus aminoácidos limitantes, esto es, lisina y triptofano. Poneros y Erdman (1988) han confirmado la elevada biodisponibilidad de calcio de las tortillas con o sin adición de ácido ascórbico. Como ya se indicó en una sección anterior, el empleo de hidróxido de calcio mejora la proporción calcio/ fósforo de las tortillas, lo que posiblemente favorece la utilización de los iones de calcio por parte del animal de experimentación. Se trata de un resultado importante para las poblaciones cuyas dietas tienen una escasa proporción de este mineral esencial. Además, el descubrimiento de que una mejor calidad de las proteínas del maíz favorece la biodisponibilidad del calcio tiene importancia nutritiva y es un motivo más para producir comercialmente MPC destinado a las personas cuya nutrición se basa fundamentalmente en el maíz.

Aminoácidos. Bressani y Scrimshaw (1958) realizaron estudios mediante la digestión enzimática in vitro con pepsina, tripsina y pancreatina. Al final de la digestión de la pepsina se puso de manifiesto que la cantidad de alfaamino, en

porcentaje respecto al nitrógeno digerido, era el doble en las tortillas (43,1 por ciento) que en el maíz (21,4 por ciento); también se hallaron niveles de histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina y triptofano más elevados en el hidrolizado de las tortillas que en el del maíz, lo que indica una liberación más rápida de las proteínas. Dichos investigadores opinaron que la diferencia de ritmo de liberación podría deberse a la considerable disminución de la solubilidad de la fracción proteica de la prolamina de las tortillas, frente a la del maíz. Serna-Saldívar et al. (1987), en cambio, experimentando con ganado porcino al que se había colocado una sonda en el ileon, hallaron que la digestibilidad de la mayoría de los aminoácidos esenciales en ese nivel del tracto intestinal era algo superior en el caso del maíz cocido en agua común que en el cocido en agua de cal. La digestibilidad de las proteínas disminuye en forma leve, posiblemente a causa del tratamiento con calor que forma parte del proceso (Bressani et al., 1990). Otros investigadores han afirmado que, durante la elaboración del maíz, la existencia de interacciones hidrofóbicas, la desnaturalización de las proteínas y su degradación probablemente dan lugar a cambios de la solubilidad de dichos elementos, que podrían influir en la liberación de aminoácidos durante la digestión enzimática.

Niacina. El tratamiento alcalino del maíz, según algunos informes, destruye su

factor pelagrágico. Las pruebas recogidas por un gran número de investigadores permiten suponer que la pelagra se debe a un desequilibrio de los aminoácidos esenciales que aumenta las necesidades de niacina del animal de experimentación. Esta suposición ha sido objeto de amplias discusiones entre quienes afirman que la niacina del maíz está ligada y no disponible al organismo, y quienes están a favor de la teoría de un equilibrio mejorado de aminoácidos inducido por el proceso alcalino de cocción dado que el tratamiento con cal libera la niacina ligada. En este sentido, Pearson et al. (1957) han demostrado que la cocción del maíz en agua común tiene idénticos efectos (es decir aumenta la disponibilidad de niacina). Bressani, Gómez-Brenes y Scrimshaw (1961) hallaron que la digestión enzimática in vitro liberaba toda la niacina en el maíz no tratado, al igual que en las tortillas, y llegaron a la conclusión que la diferencia entre el maíz en bruto y el maíz tratado con cal, en lo que se refiere a su actividad biológica y acción pelagrágica, se debía más a las diferencias de equilibrio de aminoácidos que a la niacina ligada. El tratamiento alcalino del maíz mejora el equilibrio de los aminoácidos, como demostraron Cravioto et al. (1952) y Bressani y Scrimshaw (1958). Otros investigadores han mostrado que los animales de experimentación se desarrollan mejor si se les alimenta con maíz sin tratar. En experimentos con gatos que no pueden transformar el triptofano en niacina- Braham, Villareal y Bressani (1962) demostraron que la niacina del maíz en bruto y del maíz tratado

con cal se utilizaban en igual medida, lo que indicaba que la elaboración del maíz no influye en la disponibilidad de la niacina.

Fibra dietética. Se ha demostrado experimentalmente que, al transformar el maíz en tortillas mediante cocción alcalina, la fibra dietética total disminuye en la fase de la masa y aumenta en las tortillas hasta niveles solo ligeramente inferiores a los del maíz sin tratar. Según dichos estudios, los niveles de fibra dietética total de las tortillas ascendían por término medio al 10 por ciento del peso en seco. Si una persona consume unos 400 g de tortilla (peso en seco), la ingesta total de fibra dietética será de 40 g, valor considerablemente mayor que el de la ingesta recomendada. Aun los niños de corta edad pueden consumir cantidades relativamente grandes de fibra que pueden influir en la disponibilidad de hierro. Hazell y Johnson (1989) han señalado, en cambio, que la cocción por extrusión de las comidas ligeras a base de maíz da una disponibilidad de hierro superior a la de las hechas con maíz sin tratar. Dichos autores señalaron que esto se debía en distintos grados a la refinación del maíz, la formulación del producto, la cocción por extrusión y la adición de aderezos, circunstancias que también pueden influir en la ingesta de zinc. Asimismo, pueden influir en la ingesta de calcio; ahora bien, Braham y Bressani (1966) y Poneros y Erdman (1988) demostraron que el calcio de las tortillas es altamente disponible y que su disponibilidad aumenta si se

mejora la calidad de las proteínas añadiendo los aminoácidos limitantes.

Como se ha indicado en diversos estudios, la disponibilidad de zinc podrá depender de un exceso de calcio, en lugar de la fibra dietética.

Calidad proteínica del maíz y biodisponibilidad de nutrientes

Las ratas en fase de crecimiento retienen mejor el calcio de las tortillas si se suplemento con lisina, su aminoácido limitante, y con una mezcla de aminoácidos. La calidad proteínica es un factor importante de la biodisponibilidad de los nutrientes del maíz y sus productos tratados con cal. Como ya se ha dicho, la disponibilidad de la niacina también aumenta cuando se mejora la calidad proteínica, y diversos estudios llevados a cabo con MPC han puesto de manifiesto una mejor utilización de niacina. Idéntica observación se aplica a la utilización del caroteno, mayor en el maíz amarillo suplementado con lisina que en el producto sin suplementar.

Cambios cualitativos. Los cambios en el valor nutritivo del maíz en bruto, en especial las proteínas, durante la transformación en tortillas, se han estudiado fundamentalmente en experimentos con animales. Aunque tras la cocción del

maíz en agua de cal se producen pérdidas químicas de algunos nutrientes, la calidad de las proteínas es ligera pero persistentemente superior en las tortillas que en el maíz. En el Cuadro 22 se resumen los resultados de varios estudios en los que se han evaluado el maíz en bruto y confeccionado en tortillas. El índice de eficiencia proteínica (PER) de las tortillas es por lo general algo superiora la del maíz en bruto, aunque algunos estudios han dado resultados contrarios. La diferencia puede deberse a las condiciones de elaboración, en especial a la concentración de la cal añadida, menor en la cocción casera rural que en la cocción a nivel industrial. El patrón de aminoácidos químicamente determinado de las tortillas no es superior al del maíz en bruto. La única explicación de este hecho es que el proceso aumenta la disponibilidad de aminoácidos esenciales. En tal sentido se pueden interpretar los resultados de los estudios de alimentación de ratas jóvenes (Bressani, Elías y Braham, 1968), en que el maíz en bruto y la masa cocida en agua de cal fueron suplementados con niveles cada vez mayores de lisina (del 0 al 0,47 por ciento de la dieta). Se obtuvo un PER máximo para el maíz suplementado con 0,31 por ciento y para la masa cocida en agua de cal con 0,16 por ciento. A todos los niveles de lisina suplementaria, la masa produjo valores de PER superiores a los del maíz sin tratar.

[CUADRO 22 - Calidad proteínica del maíz y las tortillas](#)

También se ensayó la suplementación del maíz únicamente con triptofano, y en este caso la adición de 0,025 por ciento produjo el PER más elevado en el maíz, sin obtenerse respuesta alguna en la masa. La adición de los dos aminoácidos, a un nivel de 0,41 por ciento de lisina y entre 0,05 y 0,15 por ciento de triptofano, mejoró la calidad de ambas materias, aunque en mayor medida en el caso de la masa.

Se consideró que estos resultados significaban que la calidad del maíz tratado con cal era superior a la del maíz en bruto, explicación que respaldan estudios *in vitro* de los que se deduce una liberación de aminoácidos esenciales (AAE) mayor en las tortillas que en el maíz, aunque Ortega, Villegas y Vasal (1986) hallaron que la digestibilidad proteica *in vitro* del maíz, la masa y las tortillas era de 88, 91 y 79 por ciento respectivamente. En cuanto al MPC, los valores respectivos fueron 82, 80 y 68 por ciento. Serna-Saldivar et al. (1987), en su trabajo sobre la digestibilidad de materia seca, energía bruta y nitrógeno del maíz cocido con y sin cal, no hallaron diferencia alguna en lo que se refiere a los valores de digestibilidad de materia seca y energía bruta. Ahora bien, si se cocina el maíz con cal, la digestibilidad del nitrógeno disminuía del 76,5 al 72,8 por ciento, según valores medidos en la proximidad del extremo del intestino delgado de cerdos. Los valores de materia seca, energía bruta y digestibilidad del nitrógeno aumentaron al ser

medidos en todo el tracto digestivo de los animales. A partir de estudios del balance de nitrógeno, los mismos autores hallaron una retención del nitrógeno de la ingesta del 45,8 por ciento en el maíz cocido sin cal y del 41,2 por ciento en el maíz cocido con cal. La retención del nitrógeno absorbido ascendió al 48,2 por ciento en el caso del maíz cocido con cal y al 52,9 por ciento en el de maíz cocido únicamente en agua. La energía digerible y metabolizable fue similar en el maíz elaborado con y sin cal. Los autores llegaron a la conclusión de que el proceso de cocción en agua de cal disminuye el valor nutritivo del maíz.

En otro estudio de Serna-Saldívar et al. (1988b), realizado en este caso con ratas, los autores observaron un aumento del porcentaje de digestibilidad de materia seca y energía bruta en el paso del maíz al nixtamal (masa) y a las tortillas; en cambio, disminuyó la digestibilidad de las proteínas. Los estudios in vitro arrojaron valores similares a los estudios in vivo. Braham, Bressani y Guzmán (1966) hallaron un mayor aumento del peso en cerdos de raza Duroc-Jersey alimentados con maíz tratado con cal que en los alimentados con maíz en bruto, con una mayor eficiencia alimenticia. En estudios realizados con perros, añadiendo lisina y triptofano al maíz cocido en agua de cal se mejoró el balance de nitrógeno y el valor obtenido con leche desnatada (Bressani y De Villareal, 1963; Bressani y Marengo, 1963), y se demostró además que, después de estos dos aminoácidos,

la isoleucina, la treonina, la metionina y la valina aumentaban la retención de nitrógeno por encima de los valores medidos con lisina y triptofano. También se ha evaluado el efecto del maíz tratado con cal en la alimentación de niños (véase el Capítulo 6). Los resultados en cuanto al balance de nitrógeno han mostrado una fuerte respuesta a la adición de lisina y triptofano, que, a su vez, depende del nivel de la ingesta de proteínas. A niveles bajos, únicamente la lisina mejoraba la calidad pero, conforme aumentaba la ingesta de nitrógeno, adquiría importancia la adición de triptofano con lisina. Todos los estudios indican que en el maíz tratado con cal hay una deficiencia de lisina ligeramente mayor que de triptofano, y parece ser que sucede lo contrario en el caso del maíz crudo. Sea como fuere, para mejorar significativamente la calidad nutritiva de las proteínas del maíz tratado con cal se necesitan ambos aminoácidos.

Utilidad del MPC. El maíz mejorado nutricionalmente (MPC) muestra los mismos cambios en cuanto a calidad proteínica y biodisponibilidad en la cocción en agua de cal y en la transformación en tortillas que los que se observan en el maíz normal. La diferencia es que las tortillas y los productos de MPC son superiores desde el punto de vista de su valor nutritivo a los elaborados con maíz común. Resultan igualmente aceptables a los consumidores.

Otros efectos de la cocción en agua de cal

Formación de lisinoalanina. En 1969, De Groot y Slump demostraron que el tratamiento de las proteínas en solución de cal daba lugar a péptidos como la lisinoalanina (LAL), la lantionina y la ornitina, que tuvieron efectos perjudiciales en pruebas con animales. No son asimilables biológicamente y tienen consecuencias negativas para la calidad de las proteínas. Varios investigadores se han interesado por las repercusiones del proceso de cocción en agua de cal empleado para transformar el maíz en tortillas. Sternberg, Kim y Schwende (1975) hallaron que unas muestras comerciales de harina para masa, tortillas y envolturas de tacos contenían 480, 200 y 170 µg por gramo de LAL. Sanderson et al. (1978) descubrieron también que se formaban lantionina y ornitina durante la cocción alcalina del maíz. Dichos autores no encontraron LAL en el maíz común o con elevada proporción de lisina en crudo; sin embargo, dichos productos contenían un porcentaje de 0,059 y 0,049 g de la proteína, respectivamente, después del tratamiento alcalino. Una masa comercial contenía 0,020 por ciento y las tortillas correspondientes 0,081 por ciento de proteínas. Dichos autores también comunicaron la presencia de lantionina y ornitina en la masa preparada con los dos tipos de maíz. Cha, Pellet y Nawar (1976) hallaron valores de 133,2 µg de LAL por gramo de proteínas si se elaboraba el maíz con 4, 1 mal por kg de cal durante 30

minutos a 170 °F (76,6°C). El empleo de hidróxido de sodio en condiciones similares arrojaba niveles más altos de LAL. Es difícil evaluar la importancia de la formación de LAL en la fabricación de tortillas para las personas que consumen cotidianamente cantidades relativamente grandes de ese alimento. Como esto sucede desde hace largo tiempo, puede que esas pequeñas cantidades no alteren el valor nutritivo ni ocasionen ningún efecto patológico. El estudio de las consecuencias del nivel de cal en la calidad de las proteínas del maíz ha demostrado que niveles superiores al 0,5 por ciento del peso del grano disminuyen la calidad proteínica. También tienen importancia el tipo y tamaño del maíz empleado. Los tipos de granos más blandos resultan más afectados que los granos grandes cocidos en condiciones similares (Bressani et al., datos inéditos).

Las micotoxinas y la cocción del maíz en agua de cal. Actualmente se reconoce la presencia de micotoxinas en los cereales y en otros alimentos y piensos, y el maíz no constituye una excepción. En América Central, donde el maíz es un alimento de gran importancia, el grano se cosecha dos veces al año en las zonas tropicales. Una de esas cosechas tiene lugar en agosto, época en la que aún llueve y, se dan las condiciones ideales de humedad y temperatura para la propagación de los hongos. Martínez et al. (1970b) encontraron seis hongos diferentes en muestras de maíz obtenidas en distintos mercados de Guatemala. La frecuencia de *Aspergillus*

versicolor era del 57,15 por ciento; la de *A. wentii*, 32,1 por ciento; la de *A. ruber*, 26,8 por ciento; la de *A. echinulatus*, 25,0 por ciento; la de *A. flavus*, 25,0 por ciento, y, por último, la de *Chardosporium spp.*, 26,8 por ciento.

A causa de la importancia de la presencia de micotoxinas en los cereales se han realizado diversos estudios para evaluar el grado de retención de micotoxinas durante el procesamiento del grano. Se ha prestado cierta atención al efecto de la cocción del maíz con hidróxido de calcio. Martínez -Herrera (1968) alimentó a pollos y ratas con maíz infestado, tanto crudo como elaborado con cal. El maíz fue infestado con *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.*, *Aspergillus niger* y *A. flavus*. El autor detectó una mortalidad elevada entre las aves alimentadas con maíz crudo infestado, pero ninguna en el grupo de pollos alimentados con ese mismo maíz tratado con hidróxido de calcio. Entre las ratas jóvenes, el grano crudo e infestado disminuyó el aumento de peso y produjo cierta mortalidad. El grano infestado y tratado con cal no dio lugar a mortalidad alguna, y el incremento de peso y la eficiencia alimenticia fueron similares a las del grupo testigo. Las ratas adultas también fueron afectadas por el maíz infestado, pero no por el maíz infestado tratado con cal. En el estudio no se analizaron los niveles de micotoxinas antes y después de la elaboración.

Martínez (1979) analizó diversas muestras de tortillas en México D.F. en distintas épocas del año, y halló que del 15 al 20 por ciento de las muestras recogidas en la primavera de 1978 y en la estación lluviosa de 1977- 1978 contenían aflatoxinas. Además, detectó concentraciones de aflatoxinas B 1 que variaban entre 50 y 200 ppb. También señaló que la cocción del maíz en agua de cal disminuía las concentraciones de aflatoxinas de entre un 50 y un 75 por ciento. Según Martínez, así como De Campos, Crespo-Santos y Olszyna-Marzys (1980), concentraciones de cal de hasta el 10 por ciento no resultaban más eficaces que una del 2 por ciento para disminuir las aflatoxinas.

Según Ulloa-Sosa y Schroeder (1969), el proceso de elaboración de tortillas no lograba eliminar las aflatoxinas del maíz contaminado. Sin embargo, otros investigadores han obtenido resultados opuestos. Según Solerzano Mendizábal (1985), el maíz inoculado con *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus* arrojaba niveles elevados de aflatoxinas que disminuían con la cocción en agua de cal, totalmente en algunos casos, pero en la mayoría en hasta un 80 por ciento. La concentración de cal variaba del 0,6 al 8 por ciento y se efectuaron análisis de maíz, masa, tortillas y aguas de cocción. En otro estudio, De Arriola et al. (1987; 1988), empleando MPC Nutricia, encontraron que los niveles de cal con que se prepara habitualmente el nixtamal en Guatemala no disminuyen las aflatoxinas

contaminado lo suficiente para que su consumo resulte inocuo a los seres humanos.

Mediante niveles de cal del 2 por ciento y superiores se redujo considerablemente la concentración de aflatoxinas, pero las tortillas no resultaban apetitosas. La reducción más importante se produjo en el caso de la aflatoxina B1. En un estudio efectuado en México D.F., Torreblanca, Bourges y Morales (1987) hallaron niveles relativamente elevados de aflatoxinas en maíz y tortillas. Se encontró aflatoxina B 1 en el 72 por ciento de las muestras de tortillas de maíz examinadas; además, el 24 por ciento de las muestras reaccionaron positivamente a la zearalenona. Carvajal et al. (1987) hallaron micotoxinas en muestras mexicanas de maíz y tortillas e indicaron que las aflatoxinas, la zearalenona y el deoxinivalenol (DON) no se destruyen con el tratamiento con cal ni a temperaturas de 110°C.

Según Price y Jorgensen (1985), el proceso de cocción en agua de cal disminuye los niveles de aflatoxinas de 127 µg por kg en el maíz en bruto a 68,6 µg por kg en las tortillas. Los investigadores concluyeron que el proceso apenas tenía eficacia, dado que el valor inferior alcanzado aún estaba muy por encima del valor considerado aceptable (unos 20 µg por kg). Dichos autores hallaron que la acidificación -tal como sucede en el tracto intestinal- aumentaba los niveles de aflatoxinas. Abbas et al. (1988) informaron acerca del efecto de la cocción del

maíz en agua de cal al 2 por ciento en la descomposición de la zearalenona y el DON. Hallaron reducciones importantes; el porcentaje de reducción variaba entre el 58 y el 100 por ciento en el caso de la zearalenona, y entre el 72 y el 82 por ciento en el del DON; además, se destruye completamente el 15-acetil-DON.

Los resultados obtenidos por diversos investigadores son algo contradictorios; en algunos casos se obtuvo una reducción parcial de algunas micotoxinas, mientras que en otros la eliminación fue total. En muchos estudios, los niveles de micotoxinas eran relativamente elevados, por lo que deberían aumentarse la concentración de cal y el tiempo de cocción en la elaboración. El problema requiere más estudio; probablemente, el mejor modo de asegurar la ausencia de micotoxinas es usar una buena calidad del grano en vez de depender de los efectos parciales de la cal para disminuirlas o eliminarlas del producto final.

Aspectos microbiológicos de las tortillas y de la harina para tortillas. Existen pocos estudios sobre la microflora de las tortillas de maíz cocido en agua de cal. Capparelli y Mata (1975) mostraron que los principales contaminantes de las tortillas preparadas en las sierras de Guatemala eran coliformes, *Bacillus cereus*, dos especies de estafilococos y muchos tipos de levaduras. En las tortillas recién cocinadas, el número de bacterias asciende al máximo a 103 organismos por

gramo, lo cual constituye un nivel aceptable de consumo. Después de ser cocinadas durante unos cinco minutos en una placa caliente, se colocan ano calientes en un cesto, a menudo tapado con un paño. El paño recoge el vapor de las tortillas y crea un ambiente propicio a la propagación de los microbios. Al cabo de unas 10 horas en esas condiciones, la superficie de las tortillas apiladas adquiere un aspecto viscoso y no son apropiadas para el consumo. Aunque en las zonas rurales es fácil que se produzca una contaminación en la conversión del maíz en tortillas, los factores que pueden contribuir más son el agua empleada para la transformación del maíz cocido en masa y el molinillo utilizado para moler el maíz cocido. En otro estudio (Molina, Baten y Bressani, 1978) se halló un aumento mayor del número de bacterias en las tortillas fortificadas con harina de soja y vitaminas que en las tortillas no fortificadas. El molinillo utilizado para moler el maíz cocido y hacer la masa fue clorado, por lo que disminuyeron las bacterias en el maíz suplementado con soja. Las tortillas elaboradas con ese maíz también tenían menos bacterias y disminuyeron asimismo su ritmo de proliferación. Valverde et al. (1983) encontraron un número mayor de bacterias en la masa y en las tortillas fabricadas con MPC Nutricia que en el maíz común, lo que demostraba el efecto de la calidad nutritiva en la multiplicación de las bacterias.

El contenido relativamente elevado de humedad, que reduce el período de

conservación, ha limitado la comercialización de las tortillas, pero sigue habiendo demanda en las zonas urbanas, donde se venden previa conservación en recipientes refrigerados. Se han hecho varios intentos de prolongar su período de conservación. Rubio (1972a, 1972b, 1973, 1974a, 1974b y 1975) patentó diversos métodos a base de aditivos: epicloridrina y ácido policarboxílico y sus anhídridos; geles inorgánicos hidrofílicos; ácido sorbico y sus sales y los ésteres de metilo, etilo, butilo y propilo de ácido benzoico parahidróxido; ácido acético y propiónico. Peláez y Karel (1980) elaboraron una tortilla de humedad intermedia con un período de conservación estable y protegida frente a la multiplicación de microbios, entre otros *Staphylococcus aureus*, levaduras y mohos y enterotoxinas, gracias al empleo de glicerol, partículas sólidas de maíz DE-42 y sal, así como el agente micostático compuesto por sorbato potásico. Los investigadores afirmaron que el producto empaquetado adecuadamente, podía durar por lo menos 30 días, y que su apariencia, textura y demás características eran similares a las de las tortillas ordinarias con actividad hídrica de 0,97. Hickey, Stephens y Flowers (1982) consiguieron una protección relativamente adecuada de las tortillas con bajos niveles de sorbatos o propionatos añadidos a la masa y mediante la pulverización de sorbato en la superficie (por ambos lados) tras tostarla en la placa caliente. Más recientemente, Islam, Lirio y Del Valle (1984) afirmaron que la utilización de propionato de calcio prolonga a 2-5 días el

período de conservación de las tortillas a temperatura ambiental y a 2-11 días usando dimetilfumarato, en idénticas condiciones de almacenamiento y si se emplean bolsas de polietileno. Aunque se ha conseguido prolongar el período de almacenado en anaqueles, la buena conservación sigue siendo un problema para quienes compran alimentos en los supermercados.

No existen informes similares respecto a los aspectos microbiológicos de la harina para tortillas y las tortillas mismas, aunque cabe esperar que el número de bacterias sea bajo debido al procedimiento utilizado para prepararla y utilizarla en el hogar.

El ogi y otros productos de maiz fermentado

Cambios químicos

El proceso de fermentación del maíz, el sorgo, el mijo o el arroz para elaborar ogi elimina porciones del grano como la cubierta seminal y el germen, y requiere lavado, tamizado y decantación, operaciones que modifican la composición química y el valor nutritivo del producto final. Akinrele (1970) estudió algunos nutrientes de varias muestras de ogi producidas de distintas maneras: sin

fermentar, fermentadas con *Aerobacater cloacae*, *Lactobacillus plantarum* y una combinación de las dos bacterias, y comparando los valores con los del producto fermentado del modo tradicional. Según este investigador, quien analizó la proporción entre nitrógeno amino y nitrógeno total, las proteínas resultaban muy poco degradadas por las distintas especies de bacterias. En comparación con el ogi no fermentado, *A. cloacae* sintetiza más riboflavina y niacina, lo que no sucede en *L. plantarum*. El ogi elaborado tradicionalmente tiene más tiamina y valores ligeramente inferiores de riboflavina y de niacina que el elaborado con maíz y *A. cloacae*. En cualquier caso los cambios son pequeños, y más aún si se comparan con el maíz integral, en tanto que, en comparación con el maíz descascarado, los productos de ogi contienen más riboflavina y niacina. Akinrele (1970) y Banigo y Muller (1972) estudiaron los ácidos carboxílicos del ogi y hallaron ácido láctico en una concentración mayor (0,55 por ciento), seguido por el ácido acético (0,09 por ciento) y cantidades más pequeñas de butírico; los investigadores citados en segundo lugar indicaron que unos niveles de 0,65 por ciento de ácido láctico y 0,11 por ciento de ácido acético -a los que se debe el sabor agrio- serían adecuados para evaluar el sabor de los productos. Banigo, de Man y Duitschaeffer (1974) estudiaron la composición aproximada del ogi elaborado con maíz como integral, sin cocer y deshidratado por congelación o cocido y deshidratado por congelación tras su fermentación. Los principales

elementos nutritivos experimentaron cambios relativamente pequeños, aumentando ligeramente la fibra y disminuyendo el contenido de cenizas en comparación con el maíz integral.

Estos investigadores también analizaron el contenido de aminoácidos y no encontraron ninguna diferencia entre la harina de maíz y el ogi en lo que respecta a los aminoácidos, incluidos los esenciales. Las muestras de ogi daban cerca del doble de serina y valores algo más elevados de ácido glutámico. Según Adeniji y Potter (1978), la elaboración del ogi no disminuye el contenido proteico del maíz, pero la cantidad total de lisina y la lisina asimilable disminuyen considerablemente. En cambio, los niveles de triptófano eran más estables y aumentaron en dos muestras, probablemente a causa de la fermentación. Estos investigadores detectaron además un aumento de la fibra neutrodetergente y de las cenizas, pero ningún cambio en la lignina. Akingbala et al. (1987) detectaron una disminución de las proteínas, extracto estereoisomérico, cenizas y fibras crudas en el ogi, frente al maíz, elaborado como grano entero o molido en seco.

Valor nutritivo

Existen pocas evaluaciones del ogi y otros productos del maíz fermentado desde la

perspectiva de la nutrición. Adeniji y Potter (1978), encontraron que el secado en tambor produce una disminución considerable de la calidad proteínica del ogi de maíz comen; también hallaron pérdidas significativas de lisina. Recientemente, algunos investigadores han realizado pruebas con maíz y sorgo, constatando que la fermentación mejora la calidad nutritiva del producto. Según Akinrele y Bassir (1967), la utilización neta de proteínas, el índice de eficiencia proteínica (PER) y el valor biológico del ogi eran inferiores a los valores correspondientes del maíz integral, aunque se obtuvo algún aumento de tiamina y niacina. Se ha indicado que algunos de los microorganismos que hacen fermentar el ogi, como *Enterobacter cloacae* y *Lactobacillus plantarum*, utilizan algunos de los aminoácidos para multiplicarse. Este hecho, junto con la eliminación del germen de los granos, explica la bajísima calidad proteínica del ogi y los productos de maíz elaborados de modo similar, aunque hay algunas excepciones, como el kenkey y el pozol, productos en los que se fermenta el maíz con el germen. A pesar de que se desconocen los valores de calidad proteínica del kenkey, Cravioto et al. (1955) hallaron niveles más elevados de triptofano y lisina asimilable, lo que indica una calidad proteínica superior a la del maíz crudo o a la del maíz tratado con cal. Recientemente, Bressani (inédito) ha determinado que el producto fermentado tiene una calidad proteínica superior a la del maíz sin tratar.

Empleo del MPC

Algunos investigadores (Adeniji y Potter, 1976) han utilizado el maíz con proteínas de alta calidad (MPC) para elaborar ogi. Obtuvieron resultados similares a los alcanzados con el maíz común, salvo que la calidad proteínica era superior (aunque menor en comparación con el maíz bruto original). El pozol hecho a base de MPC tiene una calidad proteínica considerablemente superior a la del MPC crudo (Bressani, datos inéditos).

Arepas

Cambios químicos

La harina de arepa se fabrica mediante la molienda en seco que elimina el pericarpio y el germen del maíz. Cabe esperar que su composición química se diferencie de la del maíz integral y así lo han señalado Cuevas et al. (1985). El contenido de proteínas, extracto etéreo, fibras y cenizas de la harina de arepa, tanto de maíz blanco como amarillo, es inferior al del maíz integral; lo mismo sucede con respecto a la tiamina, riboflavina y niacina, así como con el calcio, fósforo y hierro. Estos cambios se deben evidentemente a la eliminación del

germen y de la cubierta seminal.

Valor nutritivo

Chavez (1972b) ha estudiado biológicamente la calidad proteínica de la harina de arepa, comprobando una disminución de un 50 por ciento de la calidad proteínica en la transformación de maíz (0,74) en arepas (0,33), aunque aumentó algo la digestibilidad de las proteínas.

Empleo del MPC

Se ha utilizado maíz de elevada calidad proteínica para elaborar arepas. Chavez (1972) halló que el proceso reducía el contenido de nitrógeno, lisina y triptofano, tiamina y niacina y lo atribuyó a la supresión del germen. También halló una pérdida importante de calidad proteínica frente al MPC integral, aunque, incluso con un valor menor, era superior a la del maíz y las arepas de maíz normal. Todos los productos -tortillas, ogi, pozol, kentey y arepas- elaborados con MPC tienen una calidad proteínica y un valor energético superior a los de los productos hechos a base de maíz común.

Otros productos obtenidos con molienda en seco cambios químicos

Los principales productos de maíz destinados a la alimentación obtenidos mediante molienda en seco son la semola en copos, la semola basta o fina, los conos y la harina de maíz. Se trata de productos para cuya fabricación se elimina el pericarpio y el germen, y se diferencian entre sí por su granulación, pues las partículas de mayor tamaño corresponden a la semola en copos y las de menor tamaño a la harina. Su composición química, según datos acerca de la composición de los alimentos, es muy semejante.

Valor nutritivo

Al igual que con la mayoría de los productos de maíz molido en seco, su calidad proteica es inferior a la del grano entero originario. Si se produce algún cambio, se debe al procedimiento utilizado para transformarlos en los distintos productos de consumo. Por ejemplo, la digestibilidad proteica de la harina de maíz es, según Wolzak, Bressani y Gómez-Brenes (1981), del 86,5 por ciento, y la de los copos del 72,0 por ciento. También tiene lugar una disminución notable de la calidad proteica dado que disminuye la lisina asimilable.

Productos del MPC

Hay pocos estudios sobre la molienda en seco del MPC, en especial de los tipos de endospermo duro. Según Wichser (1966), el MPC molido da un rendimiento de semola del 8,X por ciento, en tanto que el rendimiento de semola de los híbridos asciende aproximadamente al 17 por ciento. Los rendimientos de la harina basta y fina son fundamentalmente similares en el MPC y en el maíz híbrido. El contenido de grasas, proteínas, fibras y cenizas de la semola, los cereales para desayuno y la harina de MPC es superior al del maíz híbrido.

Se dispone de pocos datos acerca del valor nutritivo, aunque Wichser (1966) demostró que el endospermo del MPC tiene una relación proteínica neta (NPR) del 76 por ciento del valor de la caseína (100 por ciento), en tanto que el endospermo del maíz híbrido tiene una NPR del 47 por ciento del valor de la caseína. Dichos resultados son muy similares en lo que se refiere a la harina de maíz elaborada para preparar arepas a partir de MPC y maíz común, como demostró Chávez (1972a).

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

CUADRO 16

Composición aproximada del maíz en bruto y de las tortillas de fabricación casera e industrial

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

Producto	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Hidratos de carbono (%)	Calorías (por 100g)
Maíz							
Blanco	15,9	8,1	4,8	1,3	1,1	70,0	356
Amarillo	12,2	8,4	4,5	1,1	1,3	73,9	370
lanco	13,8	8,3	-	1,2	-	-	-
Tortillas							

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Blanco	47,8	5,4	1,0	0,8	0,7	44,5	204
Amarillo	47,8	5,6	1,3	0,8	0,6	44,4	212
Blanco	41,9	5,8	-	0,9	-	-	-
Industrial	40,5	5,8	0,9	1,1	1,4	50,3	226
Industrial	44,0	5,3	3,4	1,2	0,7	42,8	215
Industrial	45,2	5,2	3,1	1,4	1,1	41,1	206

Fuentes:Bressani ,Paz y Paz Scrimshaw,1958 ;Cravioto et al.,1945;Ramhotra.1958;Saldana y Brown,1984.

CUADRO 17

Contenido de ácidos grasos del maíz comestible, MPC y las respectivas tortillas (%)

Producto	C16:0 Palmítico	C18:0 Esteárico	C18:1 Oleico	C18:2 Linoleico
Maíz comestible	12,89	2,92	37,08	47,10
MPC opaco-2	15,71	3,12	36,45	43,83

Tortilla de maiz comen	13,63	2,95	37,14	45,76
Tortilla de MPC opaco-2	15,46	3,25	35,84	43,03

Fuente: Bressani et al., 1990.

CUADRO 18

Fibra dietética del maiz comen, MPC y tortillas (%)

Producto	Fibra dietética insoluble	Fibra dietética soluble	Fibra dietética total	Fibra neutro-detergente	Fibra ácido-detergente	Hemi-celulosa	Lignina
Maiz comen en bruto	11,0	1,4	12,4	10,8	2,8	8,0	0,13
Tortilla de maiz comen	9,5	1,4	10,9	9,0	3,0	6,0	0,15

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

MPC en bruto	13,8	1,1	14,9	-	-	-	-
Tortilla de MPC	10,3	1,9	12,2	-	-	-	-
Otro tipo de tortilla	3,4	-	-	6,6	3,7	2,9	-
Otro tipa de tortilla	4,1	-	-	-	3,8-5,0	-	-

Fuentes: Acevedo y Bressani, 1990: Bressani. Breuner y Ortiz, 1989: Bressani et al., 1990; Krause, 1988: Ranhotra, 19X5: Reinhold y Garcoa, 1979.

CUADRO 19

Contenido de minerales del maíz en bruto y de muestras de tortillas caseras e industriales (mg/100 g)

Producto	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
Maíz en bruto	300	325	48	108	54	4,8	1,3	1,0	4,6

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Tortilla casera 1	309	273	217	123	71	7,0	2,0	1,0	5,4
Tortilla casera 2	-	-	202	-	-	2,7	0,3	-	3,4
Tortilla casera 3	294	-	104	72	-	3,5	1,3	-	4,6
Tortilla industrial 1	315	-	182	106	-	4,0	2,5	-	3,2
Tortilla industrial 2	240	142	198	60	2	1,2	0,17	0,41	1,2
Tortilla industrial 3	269	185	205	63	9	1,5	0,19	0,40	1,1

Fuentes: Bressani et fil., 1990. Krause 1988: Ranhotra 1985: Vargas, Muñoz y Gomez, 1986.

CUADRO 20

Variaciones de los aminoácidos durante la cocción alcalina del maíz (9/16 9 N)

Aminoácidos	Maíz	Tortilla	Maíz	Masa	Tortilla	MPC	Masa
Acido	6,2	6,2	7,2	6,9	5,8	8,4	8,4

Aspartico							
Acido glutamico	20,3	19,0	18,8	19,5	18,9	15,4	15,7
Alanina	8,8	8,8	7,7	8,1	7,6	6,1	6,1
Arginina	5,1	4,2	5,4	4,6	5,5	8,3	7,9
Cisteina	-	-	2,0	1,7	1,9	2,5	2,2
Cistina	1,0	0,9	-	-	-	-	-
Fenilalanina	3,7	3,8	5,0	5,2	4,7	4,3	4,2
Glicina	4,8	4,8	4,0	4,3	3,5	4,7	4,6
Histidina	2,7	2,4	2,9	2,8	3,5	3,9	3,8
Isoleucina	4,2	4,5	3,7	3,8	3,5	3,4	3,3
Leucina	12,2	9,6	12,6	13,4	12,1	8,3	8,3
Lisina	3,0	2,9	3,0	2,7	2,9	5,1	5,2
Metionina	1,9	1,9	2,8	2,9	2,3	1,9	1,9
Prolina	11,0	10,1	9,2	10,7	8,7	7,0	7,6

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Serina	4,5	4,2	5,0	5,0	4,7	4,4	4,5
Tirosina	3,8	3,8	4,5	4,6	4,4	3,8	3,7
Treonina	3,0	3,0	3,8	3,8	3,4	3,6	3,6
Triptofano	0,5	0,5	-	-	-	-	-
Valina	4,5	4,8	4,8	5,3	4,9	5,1	5,0

Fuentes: Bressani y Scrimshaw, 1958: Sanderson et al., 1978

CUADRO 21

Contenido de vitaminas del maíz en bruto y las tortillas (mg/100 g)

Producto	Tiamina	Ribo- flavina	Niacina	Acido fólico	Acidez panto- tónico	Vitamina B ₆	Carmeno	Total de carote- noides
Maíz en bruto								
Blanco	0,38	0,19	2,00	-	-	-	-	-
Amarillo	0,48	0,10	1,85	-	-	-	0,30	1,32

Blanco	0,34	0,08	1,64	-	-	-	0,15	
Tortillas								
Blanco	0,10	0,04	1,01	-	-	-	-	-
Amarillo	0,11	0,05	1,01	-	-	-	0,12	0,41
Blanco	0,19	0,06	0,96	-	-	-	0,06	
Industrial	0,13	0,08	1,11	-	-	-	-	-
Industrial	0,07	0,04	1,61	0,014	0,24	0,12	-	-
Industrial	0,08	0,05	2,11	0,015	0,16	0,27	-	-

Fuentes: Bressani, Paz y Paz y Scrimshaw, 1955; Cravioto et al., 1945; Ranhotra, 1984; Saldana y Brown, n, 1984.

CUADRO 22

Calidad proteínica del maíz y las tortillas

Tipo de maíz	Calidad proteínica (PER)		
	Maiz	Tortillas	Caseína

Coman	1,43 ± 0,25	1,55 ± 0,23	2,88 ± 0,20
MPC (opaco-2)	2,79 ± 0,24	2,66 ± 0,14	2,88 ± 0,20
Coman	1,38	1,13	2,50
Coman tropical	0,99 ± 0,25	1,41 ± 0,11	2,63 ± 0,17
Coman serrana Xetzoc	0,96 ± 0,19	1,41 ± 0,20	2,63 ± 0,17
Coman serrana Azotea	1,02 ± 0,19	1,41 ± 0,17	2,63 ± 0,17
Coman serrana Sta. Apolonia	0,71 ± 0,20	0,98 ± 0,17	2,63 ± 0,17
MPC Nutricia	1,91 ± 0,23	2,12 ± 0,12	2,63 ± 0,17
Valor biológico del maíz coman	59,5	59,1	69,4
Aprovechamiento neto de las proteínas del maíz coman	51,2	49,4	64,5

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

[Home](#):81/cd.iso "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Capitulo 6 Comparación del valor nutritivo del maíz común y del maíz con proteínas de calidad

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

Consumo de maiz

En sus distintas modalidades de elaboración, el maíz es un importante alimento para numerosísimos habitantes del mundo en desarrollo, a los que suministra cantidades significativas de nutrientes, sobre todo calorías y proteínas. Su calidad nutritiva es de especial importancia para los niños de corta edad. En el Cuadro 23 se muestra el consumo de maíz en forma de tortillas de maíz cocido en agua de cal por parte de niños guatemaltecos. Las cantidades consumidas variaban entre 64 y 120 g por día y proporcionaban cerca del 30 por ciento de la ingesta diaria de proteínas y casi un 40 por ciento de la ingesta diaria de energía. Otros autores, como García y Urrutia (1978), observaron, en niños no lactantes de tres años de edad, que una ingesta de 226 g de tortillas aportaba cerca del 47 por ciento de sus calorías.

Aunque esa situación no es, en lo fundamental, nociva, el problema es que con frecuencia no se consumen las cantidades necesarias de alimentos complementarios, o sólo se consumen en bajísima proporción. Las legumbres son el alimento complementario más fácil de obtener en los países en desarrollo, pese a lo cual se consumen por lo general cantidades muy reducidas (Flores, Bressani y Elias, 1973). La ingesta media de frijoles por grupos de edad en los seis países de Centroamérica era de 7, 12, 21 y 27 g por día por niño de 1, 2, 3 y 4 a 5 años, respectivamente. Considerando un porcentaje del 22 por ciento de proteínas crudas en los frijoles, esta alimentación suministraba 1,5, 2,6, 4,6 y 5,9 g de proteínas, respectivamente.

[CUADRO 23 - Relaciones entre la edad de los niños, el consumo de maíz y su aportación a la ingesta de calorías y proteínas en una zona rural de Guatemala](#)

Las proteínas digeribles, teniendo en cuenta una digestibilidad real del 70 por ciento, eran únicamente 1,8, 1,8, 3,2 y 4,1. Estas cifras indican que los frijoles proporcionan aproximadamente el 14, 18, 22 y 30 por ciento de la ingesta total de proteínas alimenticias que se obtiene del maíz y los frijoles; estas cantidades y efectos de complementación son muy reducidos, sobre todo en lo que se refiere a los niños de 1 y 2 años de edad.

Datos de la FAO (1984) para 1979-1981 indican que en 22 de 145 países enumerados se consumían más de 100 g de maíz por persona y por día, como se muestra en el Cuadro 24, donde figuran también las calorías y proteínas que el maíz proporciona por persona diariamente. Ahora bien, hay que indicar que las cifras de las hojas de balance de alimentos de la FAO correspondientes a 1960-1962 (FAO, 1966) fueron superiores en algunos países a las de 1979-1981.

[CUADRO 24 - Ingesta de maíz y su aportación de calorías y proteínas a la dieta diaria](#)

Estas cifras confirman la importancia del maíz como alimento básico en algunos países de América Latina, especialmente México y América Central, así como en varios países africanos. La elevada ingesta de maíz aporta cantidades considerables de calorías y proteínas a la dieta diaria de los habitantes de esos países.

En el Cuadro 25 se presentan la ingesta diaria de maíz, calorías y proteínas de los habitantes de las zonas rurales y urbanas de los seis países de América Central. Se observan dos tendencias generales: la primera es que la ingesta de maíz disminuye de norte a sur.

CUADRO 25 - Importancia del maíz en las zonas rurales

El cereal que sustituye al maíz es el arroz. La segunda tendencia es que la ingesta de maíz es más elevada en las zonas rurales que en las urbanas. En tres países por lo menos, el maíz representa una proporción considerablemente más elevada que la de los demás alimentos consumidos en el sector rural, y por consiguiente una fuente importante de elementos nutritivos en la dieta. El cuadro muestra que el maíz proporciona hasta el 45 por ciento y el 59 por ciento de la ingesta diaria de calorías y proteínas, respectivamente.

Aunque estos datos proceden de encuestas sobre la dietas llevadas a cabo en 1969, las cifras no han variado notablemente en los últimos años. Así, por ejemplo, en 1976 el consumo medio en El Salvador variaba de 146 a 321 gramos diarios por persona; en Honduras, en 1983, el consumo variaba en distintas regiones entre 111 y 246 gramos diarios por persona, y en Costa Rica, en 1986, la ingesta iba de 14 a 31 gramos diarios por persona. Chávez (1973) señala que en México cerca del 45 por ciento del consumo nacional de calorías procede del maíz. En las zonas rurales pobres, los hombres pueden consumir cerca de 600 g de maíz, y las mujeres unos 400 g. Teniendo esto en cuenta, es muy importante la calidad nutritiva del maíz. Aunque todos los elementos nutritivos tienen interés, los

investigadores han dedicado más atención a la calidad de las proteínas.

Maiz comun

Calidad de las proteínas que consumen los niños

Varios investigadores han analizado la calidad proteica del maíz que se da a niños en vías de recuperación de una malnutrición proteico-calórica. El Cuadro 26 muestra los resultados obtenidos al suplementar el maíz cocido en agua de cal con gluten de maíz para obtener un producto con un contenido más elevado de proteínas y permitir una ingesta mayor de este nutriente con una menor ingesta de sólidos. De ese modo, se amplificaron las deficiencias de aminoácidos de las proteínas del maíz, lo que facilitó su detección empleando la técnica del balance de nitrógeno (Scrimshaw et al., 1958; Bressani et al., 1958, 1963). Los resultados mostraron una disminución de la retención de nitrógeno a medida que disminuía la ingesta de éste, hecho previsible; si n embargo, aun con una ingesta elevada de nitrógeno de 469 mg por kg de peso por día, la retención fue considerablemente menor que la correspondiente a la alimentación a base de leche en la misma cantidad. La digestibilidad aparente de las proteínas, indicada en forma de disponibilidad de nitrógeno, era bastante similar con distintas ingestas

de nitrógeno, y variaba del 72 al 78 por ciento. El Cuadro 27 se refiere a estudios de balance de nitrógeno realizados con niños alimentados a base de maíz cocido en agua. La retención de nitrógeno del maíz fue notablemente menor que los valores obtenidos con leche al mismo nivel de ingesta de proteínas. La digestibilidad de las proteínas fue del 80 por ciento en el caso de la leche y del 75 por ciento en el del maíz (Viteri, Martínez y Bressani, 1972). Se obtuvieron datos similares con endospermo de maíz cocido y maíz normal integral (Graham., Plako y Maclean, 1980), como se ve en el Cuadro 28. En este caso, el balance de nitrógeno del endospermo del maíz común fue inferior al del grano integro, y menor que los resultados alcanzados con la caseína de las proteínas de referencia. Los autores calcularon que, para alcanzar niveles de retención de nitrógeno equivalentes a los de la caseína, los niños habrían tenido que obtener del maíz el 203,9 por ciento de sus necesidades de energía, cosa evidentemente imposible.

[CUADRO 26 - Balance de nitrógeno de niños alimentados con maíz tratado con cal como única fuente de proteínas](#)

Como ya se ha indicado las proteínas del germen aportan un porcentaje muy considerable de los aminoácidos esenciales (AAE), por lo que los productos alimenticios de maíz de los que se haya eliminado el germen, incluido el

endospermo del MPC, tienen en todos los casos una calidad proteínica inferior a la del grano entero.

Cuadro 27 - Balance de nitrógeno de niños alimentados con maíz comin y leche

De igual modo, el maíz con un contenido elevado de zaina es de calidad inferior al maíz con menor contenido de prolamina, debido a una deficiencia relativamente mayor de lisina y a un mayor desequilibrio de aminoácidos esenciales, como leucina e isoleucina.

CUADRO 28 - Balance de nitrógeno en niños alimentados con granos enteros de maíz comin y harina de endospermo de maíz

Suplementación con aminoácidos

Es ampliamente reconocido que las proteínas del maíz son deficientes en lisina y triptofano, como han demostrado los estudios realizados con animales. En pruebas realizadas con niños se analizó el contenido de aminoácidos esenciales del maíz tratado con cal y suplementado con un 5 por ciento de gluten de maíz para obtener un producto con un contenido más elevado de proteínas (Scrimshaw et

al., 1958; Bressani et al., 1958, 1963). El nivel de AAE de este alimento de maíz se comparó con el contenido de aminoácidos de la proteína de referencia de la FAO de 1957, comparación de la que se dedujo el siguiente orden de deficiencia de aminoácidos: triptofano, lisina, metionina, valina, isoleucina y treonina. La comparación también estableció las cantidades de aminoácidos necesarias para alcanzar el nivel de referencia. En el Cuadro 29 figuran resultados representativos de dos niños alimentados con 3 g de proteínas por kilo de peso por día. Se produjo una reacción evidente a la adición de 148 mg de DL-triptofano por g de N que mejoró aún más con la adición simultánea de lisina (esta en una proporción de 243 mg por g de N). La adición de metionina disminuyó la retención de nitrógeno.

[CUADRO 29 - Balance de nitrógeno en respuesta a la adición de aminoácidos al maíz tratado con cal a un nivel de ingesta de 3 g de proteínas por kg por día \(mg/kg/día\)](#)

En otros estudios, se llevaron a cabo pruebas del balance de nitrógeno para conocer la respuesta obtenida con la adición tan sólo de triptofano. Los resultados de los dos sujetos (Cuadro 30) muestran con claridad que el triptofano no mejora la calidad proteínica. En cambio, la adición de lisina produce una

reacción, lo que indica que la lisina es más limitante que el triptofano.

[CUADRO 30 - Balance de nitrógeno en respuesta a la adición por separado de lisina y de triptofano \(mg/kg/día\)](#)

Se llevaron a cabo estudios similares alimentando a niños con 2 g de proteínas por kilo de peso por día. Los resultados obtenidos con dos niños se resumen en el Cuadro 31. La adición de triptofano no produjo una retención positiva de nitrógeno, pero la adición de triptofano y lisina con y sin isoleucina mejoró el balance de nitrógeno. La adición de metionina disminuyó la retención de nitrógeno, tal como se había comprobado anteriormente.

[CUADRO 31 - Balance de nitrógeno del maíz tratado con cal suplementado con aminoácidos a un nivel de ingesta de 2 g de proteínas por kg por día \(mg/kg/día\)](#)

Se efectuaron pruebas de balance de nitrógeno a 1,5 g de ingesta de proteínas por kg por día. En el Cuadro 32 figuran los resultados relativos a un niño. Aunque la adición de lisina no produjo un balance positivo, tendió a hacer disminuir la pérdida de nitrógeno. La mejora con l i sino y triptofano, con y sin isoleucina, es

evidente. La adición de metionina, incluso a ese nivel de ingesta de proteínas, disminuyó el balance de nitrógeno, tal como se había señalado anteriormente en el caso de una mayor ingesta de proteínas.

[CUADRO 32 - Balance de nitrógeno del maíz suplementado con aminoácidos a un nivel de ingesta de 1,5 g de proteínas por kg por día \(mg/kg/día\)](#)

Habida cuenta de la congruencia de los resultados obtenidos, se agruparon los datos correspondientes a los niveles de proteínas según los distintos tratamientos de la dieta. Los resultados se exponen en el Cuadro 33. Se produjo una reacción a la sola adición de triptofano únicamente al nivel más alto de ingesta de proteínas, pero la reacción a la adición conjunta de lisina fue congruente en todos los niveles de ingesta, lo que indica que la deficiencia de este aminoácido es mayor que la del triptofano. Empero, la reacción ante su sola adición fue pequeña y sin gran importancia nutritiva, lo que significa que es necesario añadir ambos aminoácidos al mismo tiempo.

[CUADRO 33 - Balance de nitrógeno de niños alimentados con maíz tratado con cal a diversos niveles de ingesta de proteínas con o sin suplemento de aminoácidos \(mg/kg/día\)](#)

Un nivel de nitrógeno de 239 mg por kg de peso por día equivale a 20 g de maíz por kg por día, o aproximadamente los 200 g de maíz que normalmente consumen los niños. La suplementación solo con lisina tendría poco efecto. Ahora bien, si también se añade triptofano, el aumento de la retención de nitrógeno es notablemente superior e incluso sobrepasa al de la leche en el nivel más alto de proteínas de la dieta. La conclusión general es que se puede llegar a partir de los resultados obtenidos mediante la suplementación del maíz con aminoácidos es que hay que añadir lisina y triptofano para obtener una reacción significativa en lo tocante a la calidad de las proteínas, medida por la retención de nitrógeno. Asimismo, que ambos aminoácidos son parejamente limitadores, pese a que la adición de únicamente lisina tendía a mejorar levemente la calidad proteínica, en tanto que los resultados de la adición de triptofano eran incongruentes.

El efecto de la metionina requiere más comentarios. Se considera que se deba a un desequilibrio de aminoácidos, pues el maíz ya contiene cantidades suficientes de este aminoácido para satisfacer las necesidades nutricionales.

Los resultados que se consignan en el Cuadro 34 indican que la valina también disminuye la retención de nitrógeno y que se puede invertir su efecto añadiendo

isoleucina y treonina. Según un estudio más pormenorizado llevado a cabo con perros, también existe una relación estrecha entre estos cuatro aminoácidos - metionina, valina, isoleucina y treonina- como suplemento a las proteínas del maiz (Bressani, 1962, 1963).

[CUADRO 34 - Balance de nitrógeno como resultado de suplementar el maíz con múltiples aminoácidos \(mg/kg/día\)](#)

Presenta gran interés e importancia el hecho de que los niños sean sensibles a esos cambios pequeños en las proporciones de aminoácidos, que se pueden detectar fácilmente en un breve período de tiempo verificando el balance de nitrógeno. Los datos que se presentan aquí ponen de relieve la importancia de alcanzar el adecuado equilibrio entre los aminoácidos esenciales para conseguir una retención máxima de nitrógeno. En ese principio se basa la suplementación con aminoácidos. Los resultados obtenidos con la adición de aminoácidos al maíz confirman los datos obtenidos con ratas, cerdos y en otros estudios sobre animales. En la siguiente sección se expondrán las conclusiones de los estudios efectuados con sujetos humanos adultos.

Maiz con proteínas de alta calidad nidos

El gran consumo de maíz de los habitantes de diversos países de América Latina y África, así como el conocimiento, bien documentado, de las deficiencias de lisina y triptofano de sus proteínas, dio lugar a investigaciones en busca de un grano con una mayor concentración de esos aminoácidos esenciales. La posibilidad de descubrir mejores variedades de maíz parecía existir, por tres motivos. Uno de ellos era que, mediante selección, se podía aumentar el contenido de aceite del grano, aproximadamente del 4 al 15 por ciento (Dudley y Lambert, 1969), incremento posible gracias a un germen de dimensiones mayores, pues éste es la parte del maíz en la que se concentra el aceite. Esos mismos investigadores demostraron que se podía aumentar el contenido de proteínas aproximadamente del 6 al 18 por ciento, mediante un aumento de la fracción prolamina (zaina) del endospermo del maíz. El tercer hallazgo fue la considerable variabilidad del contenido de lisina en las distintas variedades y selecciones del cereal. Las investigaciones para hallar dicho maíz tuvieron éxito cuando Mertz, Bates y Nelson (1964) anunciaron que habían descubierto que el gen opaco-2 empleado como marcador en la selección de maíz aumentaba considerablemente las cantidades de lisina y triptofano de sus proteínas.

Los resultados de los primeros estudios de tratamiento con cal del maíz opaco2 (cultivado en Indiana, Estados Unidos, en 1965) mostraron que no daba lugar a

cambios nutritivos importantes en la masa ni en las tortillas, como se desprende de los datos químicos y de los ensayos biológicos llevados a cabo con ratas.

La calidad proteica del maíz opaco-2 tratado con cal fue evaluado en niños aplicando el índice de balance del nitrógeno (la relación entre la absorción y la retención del nitrógeno). Con dicho fin, se utilizó a seis niños en buen estado de salud en dos estudios. En el Cuadro 35 se indican los resultados medios de los balances de nitrógeno, a un nivel de ingesta de 1,8 y 1,5 g de proteínas por kg de peso por día (Bressani, Alvarado y Viteri, 1969). Se puede observar que no hubo diferencias significativas en cuanto a la retención de nitrógeno entre los niños alimentados con dietas basadas en leche o en maíz opaco-2 tratado con cal, cuando el nivel de la ingesta de proteínas fue de 1,8 g por kg por día. Los datos ponen de manifiesto, en cambio, diferencias en lo tocante a la absorción de nitrógeno.

[CUADRO 35 - Resumen de los balances de nitrógeno de niños alimentados con leche entera y con maíz opaco-2 \(mg/kg/día\)](#)

La digestibilidad aparente de las proteínas en esos estudios en lo que se refiere al maíz opaco-2 tratado fue, por término medio, de 73,5 por ciento. Según el

nitrogeno metabolico fecal hallado en los niños, la digestibilidad proteica real fue del 83,8 por ciento.

De estos resultados se desprende que las cantidades de maíz opaco-2 ingeridas por los niños fueron de 16,3 a 16,7 g y de 12,9 a 14,5 g por kg de peso corporal, para las ingestas de 1,8 y 1,5 g de proteínas por kg por día, respectivamente. Estas cifras equivalen a una ingesta total de maíz de 140 a 227 g por día, magnitudes similares a las consumidas habitualmente por los niños de Guatemala.

A partir de los datos obtenidos en ese estudio y de datos sobre el nitrogeno endogeno urinario, se calculó la relación entre la absorción y la retención del nitrogeno para la leche y para el maíz opaco-2. Este indice de balance del nitrogeno constituye una buena unidad de medida del valor biologico de las proteínas. El índice era 0,80 en el caso de la leche y 0,72 en el del maíz opaco2, con lo que quedó establecido que el valor proteico de este maíz equivale al 90 por ciento del valor biologico de la leche. Cuando se utilizó la cifra correspondiente a la digestibilidad real, el valor biologico de las proteínas del maíz opaco-2 resultó ser 87,1 por ciento. Las cifras indican asimismo que son necesarios 90 mg de nitrogeno absorbido de este tipo de maíz para alcanzar el equilibrio de nitrogeno.

Con fines comparativos, se llevó a cabo, también en niños, ese mismo tipo de análisis con el maíz común (Scrimshaw et al., 1958, Bressani et al., 1958, 1903). Los datos sobre el índice de balance del nitrógeno se obtuvieron de diversos estudios en los que se alimentó a los niños con proteínas de maíz como única fuente de proteínas de la dieta. El valor biológico calculado fue 32 por ciento, dato que puso de manifiesto una vez más la baja calidad de las proteínas del maíz común.

En la Figura 2 ([FIGURA 2. Retención de nitrógeno en niños alimentados con leche, maíz común, solo y suplementado, y maíz opaco-2](#)) se observa claramente la diferencia entre el valor nutritivo de las proteínas del maíz opaco-2 y las del maíz común, obtenido a partir de datos de los estudios anteriormente descritos. Dicha Figura muestra la retención de nitrógeno de grupos de niños alimentados únicamente con maíz opaco-2 y la de otros alimentados con maíz común, en ambos casos a distintos niveles de ingesta de proteínas. También se indica el efecto de suplementar el maíz común con lisina y triptófano. Cabe señalar que, incluso a ingestas diarias de 400 a 500 g de maíz común, la retención de nitrógeno es muy baja, disminuyendo incluso a niveles inferiores cuando se reduce la ingesta a 200 a 300 g por día. En cambio, con maíz opaco-2, ingestas de 140 a 230 g por día dan lugar a una retención positiva que sobrepasa incluso la

obtenido con maíz común suplementado con lisina y triptofano. Todo esto indica que puede ser necesario suplementar el maíz común con otros aminoácidos para que sea comparable en valor proteico al maíz opaco-2.

La diferencia entre el maíz opaco-2 (MPC), el común y este último suplementado con lisina y triptofano se debe al espectro más amplio de aminoácidos esenciales del MPC, dado que en lo fundamental la digestibilidad de los tres es prácticamente la misma. El MPC también tiene un contenido inferior de leucina, algo implícito en el reducido valor nutritivo del cereal.

La información expuesta indica con claridad la superioridad de las proteínas del maíz opaco-2 respecto a las del maíz común, hecho de gran importancia para quienes consumen grandes cantidades de maíz en su dieta habitual.

Luna Jaspe, Parra y Serrano (1971) compararon la retención de nitrógeno del maíz común, del maíz opaco-2 colombiano (ICA H-208) y de la leche, en niños de 24 a 29 meses de edad, y de 5,9 a 10,1 kg de peso. Las ingestas de proteínas y calorías fueron aproximadamente de 1 g y 100 calorías por kg de peso corporal al día. La retención de nitrógeno era negativa si los niños consumían maíz opaco-2. Sin embargo, el maíz común registraba cifras aún menores o más

negativas. Con alimentación a base de leche, se halló en un niño un balance negativo y en los otros dos un balance positivo, resultando positivo el balance medio.

Los autores indicaron que la digestibilidad aparente de las proteínas del maíz común era del 61,5 por ciento, la del maíz opaco-2 del 57,9 por ciento y la de la leche del 66,4 por ciento. También concluyeron que el maíz opaco2 tiene un valor nutritivo superior al del maíz común.

Ahora bien, señalaron que se debe controlar cuidadosamente su empleo para alimentar a niños de corta edad con un ritmo elevado de crecimiento, y que no pueden recomendarlo como fuente principal de la ingesta diaria de proteínas.

Los resultados de estos investigadores coinciden con los comunicados por otros (Bressani, Alvarado y Viteri, 1969), quienes hallaron que, con 90 mg N absorbidos por kg de peso al día, se alcanzaba el equilibrio de nitrógeno. Los investigadores colombianos hallaron que 90 mg de nitrógeno absorbido daban lugar a una retención negativa relativamente baja, en tanto que 100 mg de nitrógeno absorbido producían un equilibrio. Las diferencias entre los resultados no eran importantes, y se pueden explicar por la edad de los niños, menores y de menor

peso en el estudio colombiano que los utilizados en el estudio de 1969. El factor más importante era la reducida ingesta de proteínas. En cualquier caso, los datos indican que una ingesta mínima diaria de aproximadamente 125 g de maíz opaco-2 constituye una posible garantía de balance de nitrógeno, que no se puede alcanzar ni siquiera consumiendo el doble de maíz común.

Pradilla et al. (1973) realizaron estudios similares con la misma variedad de maíz pero con el gen opaco-2 (H 208 opaco). También se estudió un endospermo cristalino que contenía el gen opaco-2. Los resultados se exponen en el Cuadro 36, en el que se pueden observar cifras similares de digestibilidad, valor biológico y retención de nitrógeno en las dos variedades de maíz que contienen el gen opaco-2, que fueron ligeramente menores que la caseína pero considerablemente superiores a las cifras del maíz común. En estudios más recientes, Graham et al. (1989) llevaron a cabo una evaluación biológica del MPC Nutricia, variedad de maíz que contiene el gen opaco-2. Este maíz tiene un rendimiento elevado, un endospermo duro y niveles elevados de lisina y triptofano, aunque no tanto como los del maíz opaco-2 originario estudiado en primer lugar. Dichos autores utilizaron seis niños de sexo masculino de 7,9 a 18,5 meses de edad, en fase de recuperación de un estado de malnutrición, a los que alimentaron con maíz común y MPC, así como con una dieta de caseína para proporcionar el 6,4 por

ciento de las calorías en forma de proteínas. La ingesta total de energía ascendió aproximadamente a 125 kcal por kg por día, calculada para sostener el peso y el crecimiento a ritmos previamente determinados. Los resultados del balance de nitrógeno se exponen en el Cuadro 37. La absorción de nitrógeno del MPC y del maíz común fue del 70 por ciento y 69 por ciento, respectivamente, y en cuanto a la caseína, del 82 por ciento. La retención del nitrógeno en porcentaje de la ingesta ascendió al 32 por ciento en el MPC, frente al 41 por ciento en la caseína y el 22 por ciento en el maíz común. Estos resultados, como los obtenidos anteriormente por otros investigadores, confirman la gran superioridad del maíz opaco-2 frente al maíz común para alimentar a niños.

[CUADRO 36 - Comparación de los balances de nitrógeno de niños alimentados con MPC y con maíz común](#)

[CUADRO 37 - Digestibilidad y utilización de la energía y las proteínas obtenidas con dietas de maíz común, maíz con proteínas de calidad y caseína \(mediciones en seis niños\)](#)

Graham et al. (1980) y Graham, Placko y MacLean (1980) también efectuaron estudios con ocho niños convalecientes de malnutrición, de 10 a 25 meses de

edad, que fueron alimentados con el endospermo y el grano entero de opaco-2 y opaco-2 azucarado-2. También se les dieron proteínas para administrarles 6,4 por ciento de calorías mediante proteínas, y las dietas les proporcionaron de 100 a 125 kcal por kg de peso corporal por día. Los resultados obtenidos mostraron una retención aparente del N de la harina del endospermo inferior a la de las harinas de grano entero, y ambas eran inferiores a la de la caseína. La diferencia entre la retención de nitrógeno del grano entero y la del endospermo se debió probablemente a los aminoácidos aportados por el germen. Esos mismos investigadores estudiaron los aminoácidos desprovistos de plasma en los estudios antes descritos y llegaron a la conclusión de que los tipos de maíz ensayados probablemente eran limitantes en cuanto a lisina, triptofano e isoleucina.

Estos investigadores también determinaron que para que los niños alcanzasen la retención de N de la caseína, presumiblemente igual a las necesidades, tendrían que consumir 203,9 por ciento, 148 por ciento o 122,5 por ciento de sus necesidades de energía en forma de harina de endospermo del maíz común, opaco-2 u opaco-2 azucarado-2, respectivamente, lo cual resulta imposible. En cuanto a las harinas integrales, habrían tenido que consumir 108,2 por ciento, 90,3 por ciento u 84,2 por ciento de la energía en forma de maíz común, opaco-2 u opaco-2 azucarado-2, respectivamente.

Según diversos investigadores, entre ellos Amorin (1972) y Valverde et al. (1981), que han estudiado el crecimiento de niños alimentados con MPC, este era muy superior al maíz común y daba una respuesta solo levemente inferior a la observada con alimentación a base de leche.

Graham et al. (1989) afirman lo siguiente: Para quien está familiarizado con los problemas de nutrición de los niños destetados y los de corta edad en los países en desarrollo, y habida cuenta de que millones de ellos dependen del maíz para la mayor parte de la energía, el nitrógeno y los aminoácidos esenciales de su dieta, las ventajas potenciales del maíz con proteínas de alta calidad son enormes. Dar por supuesto que a esos niños se les proporcionar siempre una fuente complementaria de nitrógeno y aminoácidos es un cruel engaño.

Adultos

Hasta la fecha se han publicado dos estudios sobre la evaluación de la calidad proteínica del maíz opaco-2 empleado en la alimentación de adultos. En el primero de ellos, Clark et al. (1967) utilizaron a diez alumnos universitarios como sujetos de dos experimentos. Se emplearon granos enteros de maíz molidos finamente. El producto contenía de 11 a 12 por ciento de proteínas, 4,65 g de

lisina por 16 g de N y 1,38 g de triptofano por 16 g de N, valores similares a los del maíz opaco-2 utilizado en el estudio con niños llevado a cabo por Bressani, Alvarado y Viteri (1969). Se suministraron 300, 250, 201 y 150 g de maíz al día, que proporcionaban 5,58, 4,65, 3,72 y 2,79 g de nitrógeno por persona por día. En el Cuadro 38 se muestran los resultados de un experimento. Todos los sujetos alcanzaron un balance positivo con una ingesta de 300 g de maíz, y estaban en equilibrio cuando se les administraban 250 g de maíz. Los niveles de 200 y 150 g dieron un balance negativo.

CUADRO 38 - Promedio del balance diario de nitrógeno en sujetos humanos adultos alimentados con distintas ingestas de maíz opaco-2

A partir de estos datos, se calculó la ecuación regresiva entre el balance de nitrógeno y el maíz consumido. Por término medio, se obtuvo un equilibrio de nitrógeno con una ingesta de 230 g.

Esos mismos autores estudiaron los efectos de la suplementación por separado con lisina y triptofano. Hallaron que sólo un sujeto mejoró su retención de nitrógeno. La adición de metionina no produjo cambio alguno. Esto indica que las proteínas del maíz opaco-2 no tienen deficiencia de esos tres aminoácidos

para los sujetos adultos. Clark et al. (1977) obtuvieron resultados similares alimentando sujetos humanos adultos con MPC y maíz opaco-2 azucarado-2.

No se han llevado a cabo estudios con sujetos adultos en los que se compare, en un mismo caso, el maíz opaco-2 y el maíz común, aunque se ha evaluado la calidad proteínica del maíz común en personas adultas (Kies, Williams y Fox, 1965). En un estudio, se alimentó a 10 sujetos con maíz degerminado para proporcionar una ingesta de nitrógeno de 4, 6 y 8 g por día. Los resultados indicaron claramente que en los casos en que el maíz degerminado proporcionaba 4 y 6 g de nitrógeno, el balance medio de nitrógeno era negativo. Cuando la ingesta aumentaba a 8 g diarios de nitrógeno, el balance pasaba a ser positivo. Se calculó la regresión entre la ingesta de nitrógeno y el nitrógeno retenido. A partir de la ecuación, se estimó que se necesitaban 6,9 g de nitrógeno de maíz degerminado para alcanzar el equilibrio de nitrógeno. El coeficiente de regresión, multiplicado por 100 y dividido por la digestibilidad de las proteínas, arroja el valor biológico de esas proteínas. En este caso, el valor era de 46,5 por ciento.

Sobre la base de 8,0 g de proteínas por 100 g de maíz degerminado, una ingesta de 6,9 g de nitrógeno equivale a 539 g de maíz, cifra próxima a los niveles de consumo de los adultos de México, Guatemala y El Salvador.

En el estudio mencionado, la lisina y el triptofano añadidos por separado no modificaron la retención media de nitrógeno. En cambio, cuando se añadieron ambos aminoácidos juntos, aumentó la retención de nitrógeno, aunque no necesariamente a causa de la mayor cantidad de nitrógeno suministrada por la adición de esos dos aminoácidos. Se puede descartar esta posibilidad habida cuenta de la reacción obtenido al añadir nitrógeno no específico. Estos datos demuestran que las proteínas del maíz común tienen deficiencia de lisina y triptofano para los seres humanos adultos, al igual que para los niños (véase supra en este mismo capítulo).

Los resultados obtenidos en estos estudios de la ingesta de aminoácidos del MPC y del maíz común (Clark et al., 1967; Kies, Williams y Fox, 1965) se comparan en el Cuadro 39. Como ya se expuso antes en este capítulo, la cantidad de maíz común necesaria para obtener el equilibrio de nitrógeno en los adultos es el doble de la del maíz opaco-2, que equivale a una ingesta de proteínas de aproximadamente 1,6 veces la del maíz opaco-2. La ingesta de los AAE sigue las mismas pautas que la ingesta total de nitrógeno.

[CUADRO 39 - Ingesta de proteínas y aminoácidos de maíz opaco-2 y maíz común necesaria para obtener el balance de nitrógeno \(g/día\)](#)

Aplicando un valor biológico de 82 por ciento en el caso del maíz opaco2, de los 28 g ingeridos se retienen unos 23 g, que es la cantidad aproximada (21 g) que se retiene del maíz común, cuyo valor biológico es de 46,5 por ciento. Estos datos ponen de manifiesto las considerables pérdidas de nitrógeno que tienen lugar en el maíz común. En cuanto a las respectivas ingestas de aminoácidos esenciales, el maíz común proporciona una cantidad mayor, salvo lisina y triptofano. Constituyen, con todo, una carga que el organismo debe desechar, carga mayor en el caso de la leucina, la tirosina y la valina. Se desconoce el costo fisiológico de la metabolización de estos aminoácidos innecesarios, pero sería útil calcularlo.

Además, la estructura de la ingesta es desequilibrada, lo que posiblemente sea un motivo más del escaso valor biológico de las proteínas del maíz común. Otro método de análisis de esta ingesta consiste en expresarla en forma de porcentaje sobre la ingesta total de aminoácidos, cálculo que amplifica las deficiencias de lisina y triptofano del maíz común e indica asimismo el exceso de otros aminoácidos.

Esta información, tanto por lo que se refiere a los adultos como a los niños, demuestra una vez más la excelente calidad de las proteínas del maíz opaco-2 y la escasa calidad de las del maíz común.

Valor biológico de las proteínas del maiz comun y del MPC

No existen estudios comparados directos de la digestibilidad y del valor biológico de las proteínas del maíz común y del opaco-2, por lo que, para compararlos, se recurrió a los estudios del maíz común efectuados por Truswell y Brock (1961, 1962) y del maíz opaco-2 por Young et al. (1971). En uno de los experimentos de Truswell y Brock, los sujetos recibieron el 90 por ciento de su ingesta de nitrógeno a partir de maíz y el 10 por ciento de otros alimentos. Los resultados demostraron que se alcanzaba un balance positivo de nitrógeno cuando la ingesta de este era de más de 7 g al día, aunque se detectó una gran variabilidad, al igual que en otros estudios. Los autores calcularon el valor biológico, que ascendía por término medio al 45 por ciento a un nivel de ingesta elevada, y al 57 por ciento a un nivel inferior de ingesta de nitrógeno. Estos resultados eran de esperarse, pues el valor biológico de una proteína depende del nivel de la ingesta proteica. Como todos los sujetos arrojaron un balance de nitrógeno positivo cuando la ingesta era elevada, los autores concluyeron que el valor biológico del maíz estaba próximo al 57 por ciento. Young et al. (1971) obtuvieron resultados similares. Según Truswell y Brock (1961), en los sujetos adultos alimentados con maíz, la adición de lisina, triptofano e isoleucina aumentaba el balance de nitrógeno de 0,475 a

0,953 g de N por día en un estudio, y de 0,538 a 1,035 g de N por día en un segundo estudio. La harina con que fueron alimentados era harina de maíz degerminado, en la que son más visibles las deficiencias.

El valor biológico de las proteínas del maíz opaco-2 fue estudiado por Young et al. (1971). Utilizaron como referencia proteínas de huevo, con una ingesta de 2,64 a 3,95 g de N por día. Los autores calcularon la digestibilidad real de las proteínas y el valor biológico a partir del nitrógeno metabólico fecal y del nitrógeno endógeno de la orina. La digestibilidad de las proteínas del maíz opaco-2 varió entre 67 y 106 por ciento, con un promedio, en los ocho sujetos del estudio, del 92 por ciento, en tanto que la variabilidad de las proteínas de huevo fue del 78 al 103 por ciento, con un promedio del 96 por ciento. El valor biológico medio del maíz opaco-2 fue del 80 por ciento, y el del huevo del 96 por ciento.

Importancia práctica de la evaluación de las proteínas del maíz opaco-2

Las pruebas obtenidas en los estudios realizados con niños y adultos indican claramente la superioridad del maíz opaco-2 sobre el maíz común. Pese a ello, de todos los países consumidores de maíz, sólo Colombia y Guatemala se han esforzado en los últimos años por implantar este maíz. Los motivos no son

claros, pues diversos estudios agronómicos llevados a cabo en distintos lugares han demostrado que el MPC y el maíz común no presentan diferencias en cuanto a prácticas de cultivo, rendimiento por unidad de superficie y calidad material del grano. Además, las plantas se asemejan, los granos son cristalinos y los rendimientos del cereal son comparables a los del maíz común. Estos factores son quizás más importantes para los agricultores que las ventajas nutritivas que ofrece el MPC.

El contenido de energía de ambos tipos es similar, mientras que el contenido de proteínas es mayor y se aprovecha mejor en el MPC gracias a su mejor equilibrio de aminoácidos esenciales. Ahora bien, el valor proteico del maíz opaco-2 se puede analizar desde otros puntos de vista y los datos expuestos en el Cuadro 39 pueden servir para decidir si conviene introducir las variedades de este tipo en los países consumidores de este cereal.

Se ha determinado que la ingesta de ambos tipos de maíz, así como su contenido de nitrógeno (proteínas), son similares, pero sus tasas de digestibilidad difieren notablemente: de una ingesta de 48 g de nitrógeno de maíz común, sólo se absorben 39,4 g y se pierden en las heces 8,6 g. En el caso del maíz opaco-2, de una ingesta de 48 g de nitrógeno, se absorben 44,2 g y se pierden 3,8 g en las

heces.

Así pues, el hecho que debe tomarse en consideración es el valor biológico, que se define como la cantidad de nitrógeno absorbido que suministra los aminoácidos necesarios para las distintas funciones metabólicas. El valor biológico del maíz común es 45 por ciento; de los 39,4 g absorbidos, se retienen 17,7 g y se excretan 21,7 g. En el maíz opaco-2, el valor biológico de las proteínas es 80 por ciento; de 44,2 g de nitrógeno absorbidos, se retienen 35,4 g y se excretan 8,8 g. La cantidad de nitrógeno que se pierde si se consume maíz común asciende a 30,3 g, en tanto que sólo se pierden 12,6 g con idéntica cantidad de opaco-2.

Dicho de otro modo, sólo se aprovecha el 37 por ciento de la ingesta de maíz común, mientras que el maíz opaco-2 tiene un rendimiento del 74 por ciento. Así pues la producción y consumo de MPC en los países consumidores de maíz influirá muy favorablemente en el estado nutricional de la población, con importantes repercusiones económicas derivadas de la mejor utilización de lo que se produce y consume.

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

[Home](#):81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

CUADRO 23

Relaciones entre la edad de los niños, el consumo de maíz y su aportación a la ingesta de calorías y proteínas en una zona rural de Guatemala

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

Edad (años)	Ingesta de maíz (g/día)	Ingesta de proteínas			Ingesta de calorías		
		Maíz (g/día)	Total (g/día)	Aportación del maíz (%)	Maíz (cal/día)	Total (cal/día)	Aportación del maíz (%)
1-2	64	5,4	20,0	27	231	699	33
2-3	86	7,3	21,7	34	310	787	39
3-4	120	10,2	27,9	36	433	981	44
4-5	89	7,6	23,3	33	321	819	39

Fuente: M. Flores, datos no publicados (citado en Bressani, 1972).

CUADRO 24

Ingesta de maíz y su aportación de calorías y proteínas a la dieta diaria

Pais	Ingesta (g/persona/día)	Calorias (por persona/día)	Proteínas (g/persona/d)
Benin	160,5	481	12,7
Botswana	209,3	665	17,5
Cabo Verde	334,1	1 052	28,0
Egipto	149,7	508	13,4
El Salvador*	245,0	871	23,3
Filipinas	152,1	399	8,7
Guatemala	276,2	977	15,4
Honduras	255,9	878	22,8
Kenya	286,1	808	21,3

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Lesotho	315,4	1 002	26,4
Malawi	468,8	1 422	37,6
México	328,9	1 061	27,1
Nepal	116,4	379	9,4
Nicaragua*	131,0	472	11,1
Paraguay	131,2	445	11,6
Rumania	128,6	373	8,6
Singapur	122,2	345	8,6
Sudáfrica	314,7	961	24,6
Swazilandia	381,4	1 279	33,7
Tanzania	129,1	421	10,0
Togo	136,9	411	10,8
Venezuela	118,3	339	7,4
Zambia	418,6	1 226	31,3

Zimbabwe 330,9 958 25,2

Fuentes: FAO, 1984: *FAO. 1966.

CUADRO 25

Importancia del maíz en las zonas rurales

Pais (de norte a sur)	Ingesta de maiz en zonas urbanas (g/día)	Ingesta de maiz en zonas rurales (g/día)	Ingesta de calorías en zonas rurales (por día)		Ingesta de proteínas en zonas rurales (g/día)	
			Del maíz	Total	Del maíz	Total
Guatemala	102	318	1 148	1 994	27,0	60
El Salvador	166	352	1 271	2 146	29,9	68
Honduras	135	225	812	1 832	19,1	58

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Nicaragua	56	131	472	1 986	11,1	64
Costa Rica	14	41	148	1 894	3,5	54
Panamá	4	4	14	2 089	0,3	60

Fuente: INCAP, 1969.

CUADRO 26

Balace de nitrógeno de niños alimentados con maíz tratado con cal como única fuente de proteínas

Ingesta de proteínas (g/kg/día)	Nitrogeno(mg/kg/día)			Porcentaje de la ingesta	
	Ingesta	Absorbido	Retenido	Absorbido	Retenido
3	470 339	9	72	2	
	(453 a 479)	(327 a 369)	(-8 a 174)	(61 a 77)	(-2 a 36)
2	331 260	22	78	7	
	(308	(207 a	(-41 a59)	(65 a 82)	(-13 a 17)

1,5	2367) 238	284) 180)	-11	76	-4
	(235 a 241)	(168 a 193)	(-22 a -2)	(70 a 82)	(-9 a -1)

Notas: La dieta consiste de 95 por ciento) de maíz tratado con cal y 5 por ciento de gluten de maíz.

Las cifras son valores promedio; entre paréntesis figura la amplitud.

Fuente: Viteri, Martínez y Bressani. 1972.

CUADRO 27

Balace de nitrógeno de niños alimentados con maíz comen y leche

Alimento	Ingesta de proteínas (g/kg/día)	Nitrógeno (mg/kg/día)			Porcentaje de la ingesta	
		Ingesta	Absorbido	Retenido	Absorbido	Retenido
Leche	1,25	195	157	75 80	38	
		(173 a 210)	(114 a 181)	(40 a 106)	(61 a 87)	(22 a 50)

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Maíz común	1,25	192	144	30	75	16
		(183 a 198)	(129 a 157)	(10 a 55)	(66 a 80)	(5 a 30)

Nota: Las cifras son valores promedio; entre paréntesis figura la amplitud.

Fuente: Viteri, Martinez y Bressani, 1972.

CUADRO 28

Balace de nitrógeno en niños alimentados con granos enteros de maíz común y harina de endospermo de maíz

Alimentados con	Nitrógeno absorbido (% de la ingesta)	Nitrógeno retenido (% de la ingesta)
Harina de endospermo	64,1 ± 11,4	15,1 ± 8,9
Caseína	81,8 ± 5,2	37,0 ± 14,2

Grano entero	73,1	1,9	26,8	4,6
Caseína	83,5	2,5	39,6	9,1

Fuente: Graham, Placko y MacLean, 1980.

CUADRO 29

Balace de nitrógeno en respuesta a la adición de aminoácidos al maíz tratado con cal a un nivel de ingesta de 3 g de proteínas por kg por día (mg/kg/día)

Dieta	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno fecal	Nitrógeno en la orina	Nitrógeno absorbido	Nitrógeno retenido
Basal (B)	461	117	334	344	10
B + triptofano	457	115	289	342	53
B + triptotano + lisina	464	135	243	329	86
B + triptofeno + lisina					
+ metionina	459	135	272	324	52

Nota: Aminoácidos empleados:: DL-triptofano: 0,34 por ciento.; L-lisina/HCl: 0,56 por ciento; DL- metionina :0,34 por ciento.

Fuente: Scrimshaw et al., 1958

CUADRO 30

Balance de nitrógeno en respuesta a la adición por separado de lisina y de triptofano (mg/kg/día)

Dieta	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno fecal	Nitrógeno en la orina	Nitrógeno absorbido	Nitrogeno retenido
Sujeto N° 1					
Leche	586	93	320	393	73
Basal (B)	474	185	349	289	-60
B + triptofano	474	108	352	366	14
B	479	111	346	368	22
B + lisina	482	120	324	362	38

Sujeto No 2					
Leche	392	45	295	347	52
Basal (B)	320	56	273	264	-9
B + lisina	335	54	257	285	24
B	346	63	287	283	-4
B + triptofano	337	52	308	285	-23

Nota: Cantidades añadidas para proporcionar 75-90 mg de triptofano/g N y 180-270 mg de L-lisina HCl / g N.

Fuente: Bressani et al., 1958.

CUADRO 31

Balance de nitrógeno del maíz tratado con cal suplementado con aminoácidos a un nivel de ingesta de 2 g de proteínas por kg por día (mg/kg día)

Dieta	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno fecal	Nitrógeno en la orina	Nitrógeno absorbido	Nitrógeno retenido
-------	----------------------	-----------------	-----------------------	---------------------	--------------------

Basal (B)	320	68	270	252	-18
B + triptofano	320	91	241	229	-12
B + triptofano + lisina	321	105	201	216	15
B + triptofano + lisina + isoleucina	321	90	207	231	24
B + triptofano + lisina + isoleucina + metionina	314	84	217	230	13
B	319	98	242	221	-21

Nota: Cantidades de aminoácidos añadidas: 0.45 por ciento de DL - isoleucina; los demás aminoácidos se añadieron en las cantidades indicadas en la nota del Cuadro, 29.

Fuente: Bressani et al., 1958.

CUADRO 32

Balance de nitrógeno del maíz suplementado con aminoácidos a un nivel de ingesta de 1,5 g de proteínas por kg por día (mg/kg/día)

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Dieta	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno fecal	Nitrógeno en la orina	Nitrógeno, absorbido	Nitrógeno retenido
Basal (B)	241	71	187	170	-17
B + lisinaa	239	59	184	180	-4
B+ lisinab	239	48	193	191	-2
B + lisina + triptofano	239	47	162	192	30
B + lisina + triptofano					
+ isoleucina	240	44	150	196	46
N + lisina + triptofano					
+ isoleucina + metionina	240	55	162	185	23
B	235	45	193	190	-3

^a0,56 por ciento L-lisina HCl

^b0,30 por ciento L-lisina HCl.

Los demás aminoácidos se añadieron en las cantidades indicadas en la nota del Cuadro 29.

Fuente: Bressani et al., 1958.

CUADRO 33

Balace de nitrógeno de niños alimentados con maíz tratado con cal a diversos niveles de ingesta de proteínas con o sin suplemento de aminoácidos (mg/kg/día)

Dieta	2,9 g de proteína/kg/día		2,1 g de proteína/kg/día		1,5 g de proteína/kg/día	
	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno retenido	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno retenido	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno retenido
Basal (B)	469	14	326	-5	238	-10
B +	465	33	327	-17	-	-

triptofano						
B + lisina	482	38	335	24	239	-4
B + lisina + triptofano	461	83	328	36	239	30
B + triptofano + lisina + isoleucina	475	108	335	40	240	46
Leche	458	70	364	73	-	-

Nota: (Cantidades de aminoácidos añadidas: 0,34 por ciento de DL - triptofano;0,56 por ciento de L.-lisina/HCl ; 0,45 por ciento de DL-isoleucina.

Fuentes: Flynn et al., 1954;Mitchell ,Hamilton y Beadles ,1952

CUADRO 34

Balance de nitrógeno como resultado de suplementar el maíz con múltiples aminoácidos (mg/kg/día)

--	--	--	--	--	--	--

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

Dieta nitrógeno	Ingesta de fecal	Nitrógeno en la orina	Nitrógeno absorbido	Nitrógeno retenido	Nitrógeno
Basal (B)	471	117	315	554	39
B + lisina + triptofano + metionina	451	223	244	228	-16
B + lisina + triptofano + metionina + valina	454	241	242	213	-29
B + lisina + triptofano + metionina + valina + isoleucina	460	128	265	332	67
B + lisina + triptofano + metionina + valina + isoleucina + treonina	447	190	218	257	39

25/10/2011

El maiz en la nutrición hu...

B + lisina + triptofano + metioninaa + valina + isoleucina + treonina	450	129	238	321	83
-----------------------------------------------------------------------------------	-----	-----	-----	-----	----

^a0,14 por ciento de DL -metionina solo en esta dieta. en las demás 0.34 por ciento.

Nota: Cantidades de aminoacidos añadidas: 0:90 por ciento de DL -valina: 0,22 por ciento de DL -treonina: los demás aminoacidos se añadieron en las cantidades indicadas en la nota del Cuadro 29.

Fuente: Scrimshaw et al., 1958.

CUADRO 35

Resumen de los balances de nitrógeno de niños alimentados con leche entera y con maíz opaco-2 (mg/kg/día)

Dieta	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno fecal	Nitrógeno en la orina absorbido	Nitrógeno absorbido N	Nitrógeno retenido	% de la ingesta	% de la ingesta retenido

						de N	
1,8 g de proteínas por kg por día							
Leche	277	52	157	225	68	81,2	24,5
Opaco-2	295	72	140	223	83	75,6	28,1
Leche	271	42	152	229	77	84,5	28,4
1,5 g de proteínas por kg por día							
Leche	187	31	88	156	68	83,4	36,4
Opaco-2	238	68	108	170	62	71,4	26,0
Leche	190	34	108	156	48	82,1	25,3

Fuente: Bressani, Alvarado y Viteri, 1969.

CUADRO 36

Comparación de los balances de nitrógeno de niños alimentados con MPC y con maíz común

Proteínas	Digestibilidad de proteínas (%)	Aprovechamiento neto de proteínas (%)	Valor biológico (%)	Retención en la fuente del nitrógeno (g/día)
Caseína	98	75	77	1,81
H-208 opaco	91	89	76	1,52
H-208 cristalinos	87	65	75	1,50
H-208 común	78	36	47	0,93

^aAlto contenido de lisina y triptofano.

Fuente: Pradilla et al., 1973.

CUADRO 37

Digestibilidad y utilización de la energía y las proteínas obtenidas con dietas de maíz común, maíz con proteínas de calidad y caseína (mediciones en seis niños)

Productos	Fecales	Peso h _{medo} (g/d _a)	Energía (kcal/d _a) [% de la ingesta]	Grasas (g/dia) [% de la ingesta]	Hidratos de carbono (g/d _a) [% de ingesta]	Ingesta de nitrógeno (mg/d _a) [% absorbido % retenido]	Aumento de peso corpora (g/dia)	A d /: (€
Case _{na}	80+33 ^a	14 ₄ ^a	48 ₁₁ ^a [6 ₁] ^a	1,3 _{0,4} [14 ₄]	5 ₂ ^a [3 ₁] ^a	2181 ₂₉₂ [82 + 4 ^a 41 + 9 ^a]	33 ₆	5,
MPC	108 ₂₈ ^a	29 ₇ ^b	121 ₂₇ ^b [13 ₂] ^b	0,9 _{0,3} [9,0 ₄]	22 ₇ ^b [11 ₃] ^b	2 273 ₂₉₅ [70 ₅] ^b 32 ₄ ^b	25 ₁₆	3,
Ma _z com _n	129 ₁₉ ^b	34 ₅ ^a	137 ₁₇ ^a [16 ₁] ^a	1,3 _{0,3} [13 ₄]	24 ₄ ^b [13 ₁] ^b	2256 ₂₉₉ [69 ₇] ^b	18 ₁₆	2,

Nota: Los valores de una misma columna con distintas letras difieren notablemente entre si ($P > 0,05$). Los valores aparecen expresados en promedios \pm desviación estándar.

Fuente: Graham et al., 1989.

CUADRO 38

Promedio del balance diario de nitrógeno en sujetos humanos adultos alimentados con distintas ingestas de maíz opaco-2

Granos de maíz	Peso del sujeto (kg)	Nitrogeno ^a (g)		
		Heces	Orina	Balance
300	64,4	1,38	4,33	0,29
250	64,6	1,23	4,63	0,07
200	64,9	1,17	4,93	-0,09
150	65,0	0,97	5,37	-0,34

^aIngesta total de nitrógeno 6.00 g.

Fuente: Clark et al., 1967.

CUADRO 39

Ingesta de proteínas y aminoácidos de maíz opaco-2 y maíz común necesaria para obtener el balance de nitrógeno (g/día)

	Opaco-2	Común
Cantidad de maíz	250	547
Proteína	27,9	43,8
Isoleucina	1,01	2,00
Leucina	2,70	5,60
Lisina	1,34	1,25
Metionina	0,60	0,80
Cistina	0,55	0,56
Fenilalanina	1,33	1,96

Tirosina	1,14	1,64
Treonina	1,10	1,72
Triptofano	0,39	0,26
Valina	1,54	2,20
Total aminoácidos	11,70	18,99

^aLa digestibilidad de las proteínas del maíz opaco-2 es 76.5 por ciento. el valor biológico de las proteínas del maíz común es 46,5 por ciento.
Fuentes: Clark et al . 1967, Kies, Williams y Fox, 1965.

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Capitulo 7 Como mejorar el valor nutritivo del maíz

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)

A causa de la gran importancia del maíz como alimento básico de muchísimas personas, principalmente de los países en desarrollo, y de su bajo valor nutritivo, sobre todo en lo que se refiere a las proteínas, se han hecho múltiples esfuerzos para mejorar el aprovechamiento biológico de sus nutrientes. Se han ensayado tres métodos: la manipulación genética, la elaboración y el enriquecimiento.

Muchos datos demuestran la considerable variabilidad de la composición química del maíz. Aunque se puede deber en parte al medio ambiente y a las prácticas de cultivo, la variabilidad de diferentes compuestos químicos es de origen genético y por consiguiente se puede modificar mediante la adecuada manipulación. Las investigaciones al respecto se han centrado en la composición de los hidratos de carbono, en la cantidad y calidad del aceite y en la cantidad y calidad de las proteínas. Se han hecho algunos intentos también en lo que se refiere a otros compuestos químicos, como el ácido nicotínico y los carotenoides.

La elaboración como medio para mejorar el valor nutritivo no goza de aceptación general, aunque se expondrán algunos ejemplos para mostrar sus consecuencias y las posibilidades que ofrece.

En lo que se refiere al último método, ha habido muchos esfuerzos por enriquecer

el maíz, con óptimos resultados, que sin embargo no se han aplicado en gran escala. No obstante, este método puede llegar a ser importante en el futuro, a medida que aumente el número de personas que consuman alimentos elaborados industrialmente, que se pueden enriquecer con más facilidad y eficacia.

Metodos geneticos

Hidratos de carbono

El almidón es el elemento que aparece en una concentración más elevada en el grano de maíz. Como el almidón se acumula en el endospermo, que está sujeto a influencias genéticas, puede llegar a ser una buena fuente de energía. Se puede modificar tanto la cantidad como la calidad de la fracción de hidratos de carbono por selección, como han descrito en diversas reseñas Boyer y Shannon (19X3) y Shannon y Garwood (1984). Se ha demostrado que el gen ceroso (Wx) del maíz ceroso determina el almidón de la amilopectina del endospermo hasta en un 100 por ciento con cantidades reducidísimas de amilosa (Creech, 1965). Asimismo, se ha demostrado que se debe a otros genes y combinaciones de genes la formación de almidón en el endospermo. El gen diluyente de la amilosa (Ae) aumenta la fracción de amilosa del almidón del 27 al 50 por ciento (Vineyard et al., 1958). Otros genes

producen un aumento de los azúcares reductores y de la sucrosa. Los genes azucarados (Su) producen cantidades relativamente elevadas de polisacáridos hidrosolubles y amilosa. Estos granos de maíz son dulces y se utilizan mucho para elaborar conservas. La calidad de su almidón también tiene consecuencias nutritivas, pues algunos granulos de almidón tienen un bajo nivel de digestibilidad, mientras que otros tienen un elevado nivel, como han demostrado Sandstead, Hites y Schroeder (1968). Estos investigadores han indicado que las variedades de maíz de genes cerosos o azucarados podrían tener mayor valor nutritivo para animales monogástricos gracias a la mayor digestibilidad del tipo de almidón que producen.

Cantidad de proteínas

Estudios ya clásicos hechos en la Universidad de Illinois demostraron la viabilidad de modificar el contenido proteico del grano de maíz por selección. En dichos estudios, se demostró que se podía aumentar el contenido de proteínas del 10,9 al 26,6 por ciento en la estirpe con elevado contenido de proteínas al cabo de 65 generaciones obtenidas por selección. La estirpe con bajo contenido de proteínas tenía aproximadamente un 5,2 por ciento de éstas. Dichos investigadores (Dudley, Lambert y Alexander, 1974; Dudley, Lambert y de la Roche,

1977) demostraron que se podía aumentar el contenido proteico de las estirpes de maíz de líneas propias estándar cruzándolas con la estirpe con elevado contenido de proteínas de Illinois, con un retrocruzamiento posterior con la línea propia. Woodworth y Jugenheimer (1948) llegaron a la conclusión de que el contenido total de proteínas se podía aumentar mediante selección en una variedad polinizada abierta cruzando estirpes de líneas propias estándar con una estirpe con elevado contenido de proteínas y efectuando luego un retrocruzamiento y una selección de las poblaciones segregantes.

Se puede alcanzar la expresión completa de los genes proteicos del maíz mediante niveles adecuados de abonos nitrogenados. Tsai, Haber y Warren (1978,1980) y Tsai et al. (1983) demostraron que la fertilización nitrogenada del maíz aumentaba el total de proteínas, gracias al aumento del contenido de prolamina. Otros estudios pusieron de manifiesto que la calidad proteica de las estirpes con elevado contenido de proteínas era inferior a la del maíz común, pues el aumento de las proteínas se debía a un aumento de la fracción de prolamina. Eggert, Brinegar y Anderson (1953), a partir de estudios realizados con cerdos demostraron que el maíz con elevado contenido de proteínas tenía un valor biológico inferior al del maíz común, lo que atribuyeron a que aquel tiene un contenido de prolamina superior al del maíz con un contenido normal de

proteínas. El valor de un grano de maíz con elevado contenido de proteínas dependerá de cómo se comporte agrónomicamente y económicamente en comparación con el maíz que tiene aproximadamente un 10 por ciento de proteínas. Los datos disponibles muestran que estos tipos de maíz no solo necesitan más nitrógeno en la tierra, sino que además no rinden tanto como el maíz que tiene cantidades normales de proteínas.

Calidad de las proteínas

La escasa calidad de las proteínas del maíz se debe fundamentalmente a las deficiencias de los aminoácidos esenciales lisina y triptofano. Ahora bien, se ha comprobado que la cantidad de ambos aminoácidos varía (Bressani, Arroyave y Scrimshaw, 1953; Bressani et al., 1960). Ya en 1949, Frey, Brimhall y Sprague consiguieron demostrar la variabilidad genética del contenido de triptofano de un cruce entre las estirpes de maíz Illinois con elevado y con bajo contenido de proteínas, así como en híbridos. El análisis biológico de estirpes de maíz que proporcionan igual nivel de proteínas en la dieta también ha puesto de manifiesto la existencia de una variabilidad, datos estos que indican que es posible mejorar la calidad de las variedades de maíz. Mertz, Bates y Nelson (1964) hallaron que el gen *opaque-2* aumentaba considerablemente el contenido de lisina y

triptofano del endospermo del maíz. Además, disminuye el nivel de leucina, dando una proporción más adecuada entre el contenido de leucina y el de isoleucina. En 1965, Nelson, Mertz y Bates demostraron que el gen harinoso-2, por ser homocigótico, también puede aumentar los niveles de lisina y triptofano del maíz. Gracias a investigaciones llevadas a cabo en el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y del Trigo (CIMMYT) se consiguió obtener estirpes de MPC, que se comportan agrónomicamente como el maíz común. Como ya se ha expuesto en este libro, la calidad proteínica de estas estirpes es considerablemente superior a la del maíz común, según los ensayos realizados con seres humanos.

Aunque se conocen esos tipos de maíz, es difícil cultivarlos comercialmente, pese a que aportarían grandes beneficios a las poblaciones en las que se consume maíz en abundancia.

Aceite

Los estudios genéticos han revelado que el contenido de aceite del maíz, a menudo muy diverso, está sujeto a influencias genéticas; el medio ambiente y las prácticas agrónomicas pueden influir además en la composición de los ácidos

grasos (Jellum y Marion, 1966; Leibovits y Ruckenstein, 1983). En cuanto al contenido proteico, la selección en masa a lo largo de 65 años aumentó el contenido de aceite del 4,7 al 16,5 por ciento, gracias a un incremento del tamaño del germen. El problema de las variedades que contienen mucho aceite es su escaso rendimiento, aunque se sabe que algunas variedades que tienen un contenido de aceite del 7 al 8 por ciento rinden tanto como las variedades con contenidos inferiores. Además del contenido total de aceite, algunos estudios han demostrado que el contenido de ácidos grasos también puede venir determinado genéticamente, como se ve por los cambios que tienen lugar en el contenido de ácido linoleico del aceite de maíz. Según Poneleit y Alexander (1965), podría a un gen único o a un gen único más un modificador. Otros investigadores han propuesto la hipótesis de un sistema de herencia de genes múltiples. Se ha demostrado que la composición de ácidos grasos del aceite de MPC es similar a la del maíz normal.

Otros nutrientes

A causa de la relación del consumo de maíz con la pelagra, y de la escasez de ácido nicotínico en el maíz, se ha tratado de aumentar genéticamente la niacina del maíz. La variabilidad de 22 variedades plantadas en un mismo terreno

iba de 1,25 a 2,6 mg por 100 g (Aguirre, Bressani y Scrimshaw, 1953). No obstante, lo que sucede con la niacina del maíz y de otros cereales es que el organismo animal no puede asimilarla.

El otro nutriente al que se ha prestado cierta atención es el caroteno, que es una fuente de vitamina A. Según los resultados obtenidos por algunos investigadores, el maíz amarillo varía en lo que se refiere a actividad de vitamina A de 1,52 a 2,58 µg por gramo. La criptoxantina aporta del 38,3 al 57,3 por ciento de la actividad total en el grano del maíz y el beta-caroteno el resto (Squibb, Bressani y Scrimshaw, 1957). Según otros investigadores, la actividad de la provitamina A está bajo control genético en el grano de maíz.

Elaboración

Ocurre con frecuencia que la elaboración de productos alimenticios estabiliza los elementos nutritivos de los alimentos, pero se pueden producir pérdidas si se sobrepasan las condiciones óptimas. La elaboración puede, sin embargo, dar lugar a modificaciones positivas del alimento; a este respecto, la eliminación de los factores antifisiológicos de los frijoles es un ejemplo clásico.

Cocción en agua de cal

La cocción del maíz en agua de cal, tal como se describe en el Capítulo 4, da lugar a algunas pérdidas de contenido de nutrientes, pero también produce algunos cambios nutritivos importantes. En el Capítulo 4 se han descrito asimismo sus efectos sobre el contenido de calcio, aminoácidos y niacina.

Otros procedimientos

Además de la cocción en agua de cal, se conocen otros procedimientos que mejoran la calidad del maíz. Uno de ellos es la fermentación natural del maíz cocido, que aumenta la concentración de vitamina B y mejora la calidad proteínica (Wang y Fields, 1978). Se ha demostrado que el pozol, alimento hecho a base de maíz tratado con cal al que se deja fermentar naturalmente, es de mejor calidad que el maíz en bruto o las tortillas. También es sabido que la germinación del maíz mejora el valor nutritivo del maíz, al aumentar en cierta medida su contenido de lisina y triptofano (Tsai, Dalby y Jones, 1975; Martínez, Gómez-Brenes y Bressani, 1980) y hacer disminuir el de zeína. Se obtuvieron resultados similares con el MPC.

Enriquecimiento

Un tercer método utilizado para mejorar el valor nutritivo de los alimentos, sobre todo de los granos de cereal, es el enriquecimiento. A causa de las grandes limitaciones nutritivas del maíz, se han hecho grandes esfuerzos para mejorar su calidad, en especial su calidad proteínica, añadiéndole aminoácidos o fuentes de proteínas ricas en aminoácidos limitantes.

Enriquecimiento con aminoácidos

Se ha demostrado que las proteínas del maíz en bruto tienen un bajo valor nutritivo por tener deficiencia de los aminoácidos esenciales lisina y triptofano. Muchos estudios realizados con animales demuestran que la adición de ambos aminoácidos mejora la calidad de las proteínas. Algunos investigadores han hallado, incluso, que, además de deficiencia de lisina y triptofano, el maíz también tiene deficiencia de isoleucina, probablemente por un exceso de leucina en sus proteínas (Rosenberg, Rohdenburg y Eckert, 1960). Se han obtenido datos similares con estudios realizados con animales al suplementar el maíz tratado con cal con lisina y triptofano (Bressani, Ellis y Braham, 1968). Dichos resultados han sido confirmados mediante estudios sobre el balance de nitrógeno llevados a cabo

con niños, como se dijo en el Capítulo 6 (véase en el Cuadro 3? p. 99, una selección de resultados al respecto). A menudo se ha concedido escasa importancia al hecho, demostrado experimentalmente, de que la adición de lisina y triptofano en los niveles inferiores de ingesta de proteínas produce una retención de nitrógeno considerablemente mayor que en el nivel más elevado de ingesta de proteína, y se ha prestado muchísima más atención a la ingesta de energía que a la calidad de las proteínas.

Enriquecimiento del maíz con fuentes de proteínas

Los resultados de estudios realizados con animales y seres humanos, sobre adición de aminoácidos limitantes, han servido de base para evaluar distintos tipos de suplementos proteicas con objeto de mejorar la calidad del maíz tratado en agua de cal. Muchos investigadores han publicado estudios sobre el enriquecimiento con proteínas de la harina de maíz tratada con cal, utilizando diversas fuentes alimentarias, entre ellas leche, sorgo, harina de semilla de algodón, harina de pescado, levadura torula y caseína. En el Cuadro 40 se resumen los resultados de añadir pequeñas cantidades recomendadas de diversas fuentes proteicas. El aumento de la calidad es de por lo menos el 200 por ciento del valor proteico del maíz. En experimentos realizados con cachorros de perro, los balances de

nitrógeno con maíz suplementado con un 5 por ciento de leche desnatada, un 3 por ciento de levadura torula y un 4 por ciento de harinado pescado fueron muy superiores a los obtenidos en los alimentados únicamente con maíz. La mayoría de los suplementos experimentados comparten varias características: todos ellos tienen un contenido relativamente elevado de proteínas y constituyen buenas fuentes de lisina, a excepción de las proteínas de semillas de algodón y de la harina oleaginosa de sésamo, que es, en cambio, una fuente de metionina. Salvo la caseína y/o la leche o el concentrado de proteínas de pescado, los suplementos son de origen vegetal.

La mejora de la calidad proteínica de la harina para tortillas es, en la mayoría de los casos, una respuesta sinérgica a la mejora cualitativa ocasionada por la lisina y el triptofano, así como al nivel más elevado de proteínas, ambos ocasionados por el suplemento añadido al maíz. Debido a que las proteínas de la soja, en distintas modalidades, constituyen el suplemento de la harina para tortillas con el que más han experimentado distintos investigadores, y dado que también se trata del único experimentado con niños, con resultados comparables a los obtenidos en estudios con animales, en esta sección se analizará su importancia y efectos.

CUADRO 40 Niveles recomendados de concentrados de proteínas para mejorar la calidad proteínica del maíz tratado con cal

Fuente de proteínas	Nivel recomendado (%)	PER
Ninguna	-	1,00
Caseína	4,0	2,24
Concentrado de proteínas de pescado	2,5	2,44
Proteínas de soja aisladas	5,0	2,30
Harina de soja	8,0	2,25
Levadura torula	2,5	1,97
Proteínas de huevo	3,0	2,24
Harina de carne	4,0	2,34
Harina de semillas de algodón	8,0	1,83

Fuente: Bressani y Marengo, 1963.

Los estudios muestran que se alcanza un PER máximo añadiendo de 4 a 6 g por ciento de proteínas de soja, ya sea de soja entera, de harina (50 por ciento), de concentrado proteico o de proteínas de soja obtenidas por aislamiento (Bressani, Elias y Braham, 1978; Bressani et al., 1981). Se analizaron los resultados conseguidos con soja entera por su mayor disponibilidad, menor costo y las aplicaciones prácticas que ofrece. En la Figura 3 se presenta el PER de diversas combinaciones de maíz común, maíz opaco-2 y harina de soja en proporciones que van de 0 a 100.

El nivel de 4 a 6 g por ciento de proteínas suplementarias puede ser suministrado por un 15 por ciento de soja entera o un 8 por ciento de harina de soja, que han dado una mejora similar de la calidad proteica. La utilización de un 15 por ciento de soja integral tiene la ventaja de que se puede efectuar la suplementación en el hogar con soja cultivada por la familia; la soja es un cultivo muy económico que, además de proporcionar un producto alimenticio de cantidad y calidad proteica elevadas, constituye una fuente de energía adicional gracias al aceite que contiene.

Figura 3. Índice de eficiencia proteínica de diversas combinaciones de maíz comestible u opaco-2 y harina de soja

Tanto si el procedimiento de suplementación se efectúa en el hogar como industrialmente, se ha comprobado que éste mejora la calidad nutritiva, porque destruye toda actividad inhibidora de la tripsina y de la ureasa de la soja (Del Valle y Pérez-Villaseñor, 1974; Del Valle, Montemayor y Bourges, 1976; Bressani, Murillo y Elías, 1974; Bressani et al., 1979). Se ha demostrado que las tortillas elaboradas con un 15 por ciento de soja resultan agradables a los consumidores de las zonas rurales y presentan muchas de las características de las tortillas sin soja, salvo que son más flexibles y blandas. Se ha intentado muchas veces aplicar esa tecnología en el plano industrial y casero, pero no ha prosperado por diversos motivos, entre otros el costo de la soja, y talvez debido a las modificaciones de las características organolépticas.

Ante el aumento relativo de la producción industrial de harina de maíz tratado con cal, su enriquecimiento con fuentes de proteínas y otros nutrientes se lleva a cabo eficientemente en una mezcla en seco, como en el caso de otras harinas de cereales. El problema no es tanto la tecnología como la falta de una legislación adecuada que haría mejorar la calidad de las tortillas de maíz, al igual que en el

caso de la harina de trigo en muchos países del mundo. Los estudios señalados anteriormente llevaron a la elaboración de un suplemento seco de la harina de maíz formado por 97,5 g por ciento de harina de soja (50 por ciento de proteínas), 1,5 por ciento de L-lisina HCl, 26,8 mg por ciento de tiamina, 16,2 mg por ciento de riboflavina, 19,3 mg por ciento de niacina, 0,60 por ciento de ortofosfato férrico, 0,031 por ciento de vitamina A 250 y 0,133 por ciento de almidón de maíz. La cantidad recomendada que se debía añadir a la harina para tortillas era un 8 por ciento del peso. Los estudios del balance de nitrógeno de niños alimentados con esta mezcla se exponen en el Cuadro 41 (Viteri, Martínez y Bressani, 1972). El balance de nitrógeno del maíz ascendió únicamente al 42 por ciento del correspondiente a la leche. Cuando se suministró maíz con el suplemento, el balance de nitrógeno ascendió al 84 por ciento del de la leche. Todos los experimentos, tanto los llevados a cabo con animales como con niños, dieron idéntico resultado, es decir, una considerable mejora de la calidad proteínica del maíz. Urrutia et al. (1976) investigaron parcialmente la eficacia de este suplemento y sus datos preliminares indican cierta mejora de la condición nutritiva de niños de corta edad. También se ha demostrado que otros alimentos a base de maíz, como las arepas y los confeccionados con maíz fermentado, mejoran si se suplementan con harina de soja.

CUADRO 41. Balance de nitrógeno de niños en edad preescolar alimentados con leche, maíz normal y maíz suplementado con soja y lisina

Dieta	Nº de niños	Nº de balances	Edad cronológica (meses)	Edad talla (meses)	Peso para talla (%)	Ingesta de proteínas (g/kg/día)	Nitrógeno (mg/kg/día)		
							Ingesta	Absorbido	Retenido
Leche	7	11	24	14	103	1,25	195 (173-210)	157 (114-181)	75 (40-)
Maíz normal	6	12	30	16	104	1,25	192 (183-198)	144 (129-157)	30 (10-)
Maíz + soja + lisina	6	12	30	16	104	1,25	197 (189-203)	154 (144-169)	63 (52-)

Nota: El maíz suplementado con soja y lisina contiene 91.75 por ciento de

maíz. 8 por ciento de saja y 0.15 por ciento de lisina.

Fuente: - Viteri. Martínez y Bressani. 1972.

Maíz suplementado con hortalizas verdes

En algunos países se consume la masa en forma de tamalitos, es decir, evolucionándola en las espaldas o chala del maíz y cocinándola al vapor. Es frecuente que se coman tamalitos en lugar de tortillas; tienen la ventaja de que se conservan blandos durante más tiempo. Hay varias formas de prepararlos, en algunas de las cuales se utilizan las hojas tiernas de vegetales locales, como crotalaria y amaranto. Diversos estudios químicos y nutritivos han demostrado que la adición de cerca de un 5 por ciento de esas hojas mejora localmente la proteínica de la masa (Bressani, 1983), pues tienen niveles relativamente elevados de proteínas ricas en lisina y triptofano. Además, suministran minerales y vitaminas, especialmente la provitamina A. También se ha demostrado que los concentrados de las proteínas de las hojas mejoran la calidad proteínica de los cereales (Maciejewicz-Rys y Hanczakowski, 1989).

Maíz suplementado con otros cereales

El sorgo es otro cereal que se elabora mediante cocción en agua de cal en México y América Central, especialmente en las zonas en que el maíz no crece muy bien. Sin embargo, las tortillas de sorgo no tienen la misma calidad organoléptica o nutritiva que las de maíz. Se han llevado a cabo con éxito muchos intentos de utilizar mezclas de esos cereales, entre otros por Vivas, Waniska y Rooney (1987) y Serna-Saldívar et al. (1987, 1988a y 1988b). Otros métodos empleados comprenden el uso de mezclas de maíz comestible, ya que se sabe que la germinación aumenta la lisina. También se han estudiado mezclas de harina de tortilla y arroz, y de harina de tortilla y harina de trigo. Los productos de mezclas de arroz y maíz tienen un valor nutritivo superior al de las tortillas de trigo y maíz, como se ve en la Figura 4. Estos resultados demuestran la superioridad de la harina de arroz sobre la de maíz integral y la de ésta sobre la de trigo.

[FIGURA 4. Valor proteínico de mezclas de dos cereales](#)

Más recientemente, se ha demostrado que mezclas de grano de amaranto con harina de maíz cocido en agua de cal tienen mayor calidad proteínica gracias al contenido mucho más elevado de lisina y triptófano del amaranto en comparación con el maíz. El producto tiene una calidad organoléptica aceptable. Otros productos que se añaden son papas, arroz y frijoles pintos, que constituyen

alimentos de sabor, olor y apariencia aceptables.

Alimentos con proteínas de alta calidad

Se puede mejorar el valor nutritivo del maíz, especialmente su valor proteico, añadiéndole un suplemento de proteínas. Para ello se busca combinar el maíz con dos o más fuentes de proteínas a fin de aumentar al máximo la calidad del producto y de alcanzar un equilibrio adecuado de los aminoácidos esenciales. Con este método, se han conseguido diversos alimentos de elevada calidad (se pueden obtener resultados similares con otros cereales).

En la Figura 5 se da un ejemplo de maíz común y MPC, ambos suplementados con frijoles negros comunes. En este caso, la sustitución isonitrogenada del nitrógeno de los frijoles por nitrógeno de MPC dio lugar a un aumento constante hasta un nivel correspondiente al 50 por ciento de cada elemento, sin más cambios a medida que el nitrógeno de la mezcla proceda cada vez en mayor medida del MPC. Se observó el mismo tipo de resultado con mezclas de frijoles y maíz común, con la diferencia de que, cuanto mayor es la proporción de nitrógeno alimenticio suministrado por el maíz, más disminuye la calidad proteica. Ulteriores estudios indicaron que a la izquierda de la respuesta máxima el

aminoácido limitante fue la metionina, en tanto que a la derecha lo fue la lisina. El máximo se obtuvo mediante la aportación de lisina de los frijoles al maíz y la aportación de metionina del maíz a los frijoles. Esta respuesta ha servido para formular mezclas alimenticias con proteínas de elevada calidad que contienen un 70 por ciento de maíz y un 30 por ciento de frijoles comunes.

Se observa una respuesta similar en mezclas de maíz normal y MPC con harina de soja. Dicha mezcla es equivalente, en peso, a un 77 por ciento de maíz y un 23 por ciento de harina de soja. Si se utiliza harina integral de soja, la mezcla, en peso, es del 70 por ciento de maíz y el 30 por ciento de harina integral de soja. Este producto se denomina maisoy y se produce comercialmente en Bolivia.

[FIGURA 5.Indico do eficiencia proteínica de las combinaciones de maíz coman u opaco-2 y hijos los negros](#)

Se utiliza para mejorar el maíz tratado con cal destinado a tortillas o como diluyente de la harina de trigo para productos que se hornean. Se han usado de modo similar otras harinas de semillas oleaginosas, por ejemplo la harina de semilla de algodón; en este caso, no se produce un efecto sinérgico con dicho suplemento. Se pueden obtener mezclas de calidad óptima cuando la harina de

semilla de algodón suministra aproximadamente el 78 por ciento de las proteínas y el maíz el 22 por ciento. Esta distribución, en peso, equivale a un 40 por ciento de harina de semillas de algodón y un 60 por ciento de harina de maíz, que constituye la base del producto denominado incaparina, elaborado en Guatemala desde 1960.

Se han ideado muchas otras mezclas de maíz y otros productos alimenticios. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha participado desde 1957 en la concepción de diversos productos y procedimientos y hoy en día se conocen en todo el mundo en desarrollo productos como la leche de soja y maíz, tanto instantánea como endulzada, el pan de soja y maíz y otros similares. Se han elaborado muchas otras mezclas con maíz común o MPC y otras fuentes de proteínas, que dan productos de valor nutritivo y aceptabilidad elevados.

[Indice](#) - [Precedente](#) - [Siguiente](#)