



EL MAIZ

en la nutrición humana



Organización
de las
Naciones
Unidas
para la
Agricultura
y la
Alimentación

EL MAIZ

en la nutrición humana

Publicación INCAP ME/026

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION
Roma, 1993

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)

El maíz en la nutrición humana
(Colección FAO Alimentación y nutrición, N°25)
ISBN 92-5-303013-5

I Maíz 2 Nutrición humana
I Título II Serie

Código FAO 86 AGRIS S01

Reservados todos los derechos. No se podrá reproducir ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos o transmitirla en cualquier forma o por cualquier procedimiento (electrónico, mecánico, fotocopia, etc.), sin autorización previa del titular de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización, especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse al Director de Publicaciones, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia

En el curso de los años, la FAO ha publicado diversos estudios sobre nutrición. Uno de ellos, *El maíz 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 requería, 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 cocción alcalina del maíz, y a la preparación de alimentos como tortillas, arepas y *ogi*. 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 *opaque-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 proteí-

nas 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 María 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 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

Prefacio	III
Capítulo 1	
INTRODUCCION	1
Tipos de maíz	1
Origen del maíz	2
La planta del maiz	3
Estructura del grano de maíz	5
Produccion mundial	9
Aplicaciones del maiz	12
Capítulo 2	
COMPOSICION QUIMICA Y VALOR	
NUTRITIVO DEL MAIZ	15
Composición química de las partes del grano	15
Composición química general	18
Valor nutritivo del maíz	29
Capitulo 3	
TECNOLOGIA POSTCOSECHA:	
LA PREELABORACION	33
El secado	33
Almacenamiento	36
Clasificación de la calidad del grano	40
Capitulo 4	
TECNOLOGIA POSTCOSECHA:	
LA ELABORACION	43
Modalidades de consumo del maíz	43
Elaboración del maíz integral: cocción en agua de cal	44

Preparación del <i>ogi</i> y otros productos de maíz fermentado	54
Preparación de arepas	56
Otras preparaciones a base de maíz	57
Molienda	58
Capítulo 5	
CAMBIOS FISICOS Y QUIMICOS DURANTE LA ELABORACION	61
Maíz tratado con cal	61
El <i>ogi</i> y otros productos de maíz fermentado	83
Arepas	86
Otros productos obtenidos con molienda en seco	86
Capítulo 6	
COMPARACION DEL VALOR NUTRITIVO DEL MAIZ COMUN Y DEL MAIZ CON PROTEINAS DE CALIDAD	89
Consumo de maíz	89
Maíz común	93
Maíz con proteínas de alta calidad	100
Valor biológico de la proteínas del maiz común y del MPC	111
Capítulo 7	
COMO MEJORAR EL VALOR NUTRITIVO DEL MAIZ	115
Métodos genéticos	116
Elaboración	119
Enriquecimiento	120
Capítulo 8	
MEJORA DE LAS DIETAS A BASE DE MAIZ	131
Consumo de maíz y legumbres	131
Nutrientes limitantes de la dieta a base de maíz y frijoles	136

Mejora de la dieta a base de maíz y legumbres	139
EI MPC	140
BIBLIOGRAFIA	145
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA	167

Capítulo 1

Introducción

TIPOS DE MAÍZ

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 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 vítreo 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 vítreo, 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

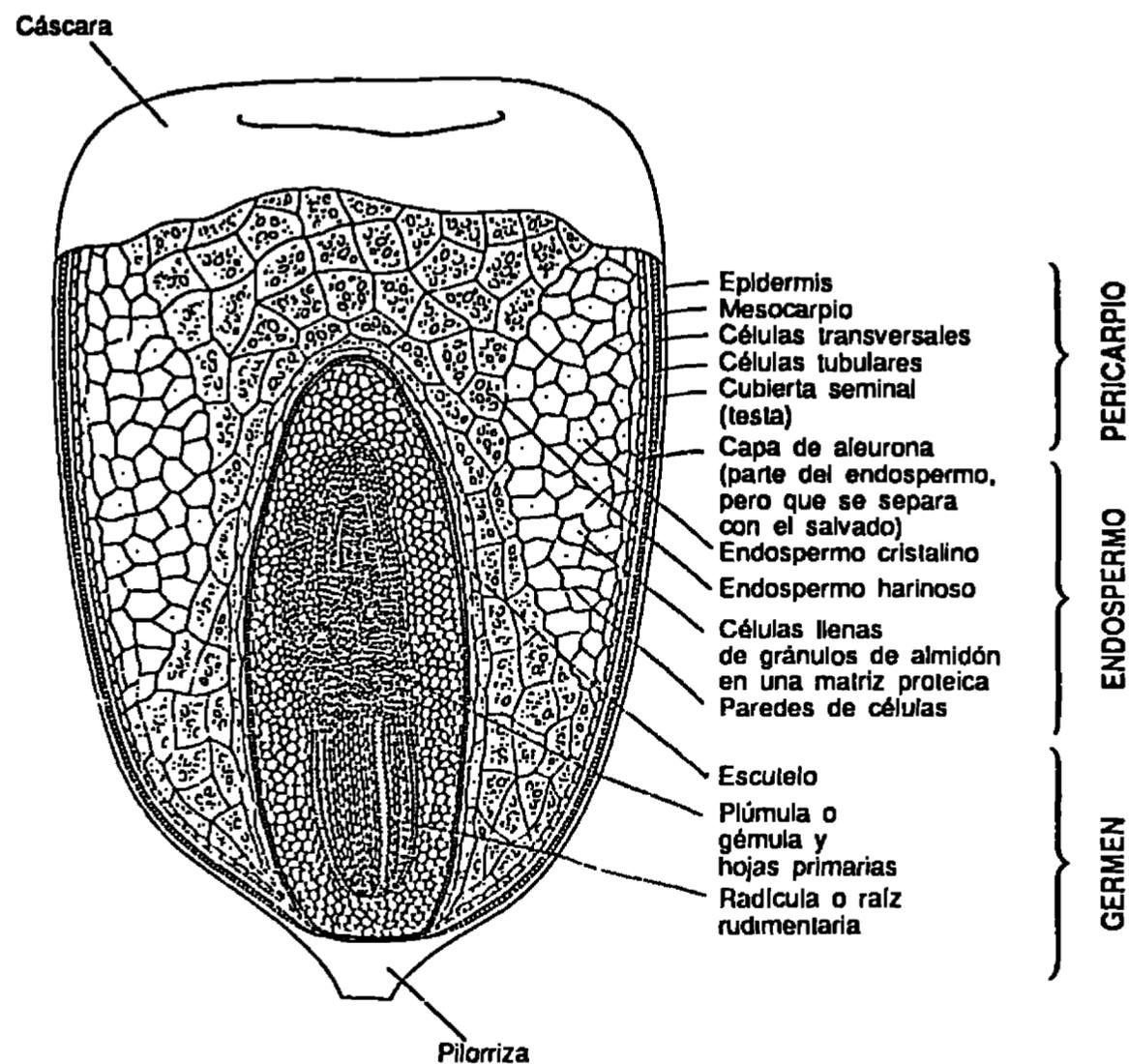
siguientes proporciones: 1,8 por ciento de flores secas, de 14,7 por ciento a 27,8 por ciento de tallos y de 7,4 por ciento a 15,9 por ciento de hojas. Las envolturas de las mazorcas representaban del 11,7 por ciento al 13 por ciento, los carozos del 9,7 por ciento al 11,5 por ciento y el grano secado 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 (Barber, 1979).

ESTRUCTURA DEL GRANO DE MAÍZ

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 cariósipide o cariopsis, cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla, como se ve en la Figura 1. En la figura se muestran también las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara, 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 proteicos, 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

FIGURA 1
Estructura del grano de maíz: corte longitudinal aumentado aproximadamente 30 veces



(Facilitado por el Wheat Flour Institute, Chicago, Illinois, 1964)

distribución proteica, el contenido de aminoácidos y la estructura del endospermo del maíz opaco-2.

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

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 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 maíz. 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 (g)	Distribución ponderal (%)			Total N (%)	Distribución del nitrógeno (%)		
		Cubierta seminal ^a	Endospermo	Germen		Cubierta seminal	Endospermo	Germen
EE UU 4251	5,62	6,3	86,3	7,4	1,31	3,3	81,2	15,5
EE UU Contenido elevado de aceite (HO)	5,72	6,4	71,2	22,4	1,99	2,4	68,4	29,2
EE UU Contenido elevado de proteínas (H5)	4,32	6,9	82,7	10,4	2,24	2,2	83,2	14,6
EE UU Contenido elevado de proteínas (HP)	4,97	7,4	78,9	13,7	2,14	2,7	78,2	19,1
EE UU Normal-Sh1 PT	4,38	6,7	79,6	13,7	2,14	2,7	78,2	19,1
EE UU Normal mutante-Sh1 PT	2,50	10,7	70,6	18,7	2,21	6,1	64,6	29,3
Tiquisate (TGY)(Guatemala)	8,24	4,9	83,9	11,2	1,37	2,8	75,2	22,0
San Sebastian (SSD)(Guatemala)	8,24	4,9	83,9	11,2	1,37	2,8	75,2	22,0
Guatemalteco 142-48	6,91	6,9	82,1	11,0	1,83	2,6	81,0	16,4
Guatemalteco Cuyuta	5,95	5,7	82,5	11,8	1,28	2,9	72,4	24,7
Teosinte guatemalteco	1,56	55,6 ^b	44,4	—	1,81 ^c	8,2	91,8 ^d	—
MPC Nutricia	5,91	5,7	82,7	11,6	1,42	1,7	72,8	25,5
MPC amarillo	6,49	5,9	81,6	12,5	1,48	2,4	73,4	24,2
MPC blanco	5,31	5,9	82,4	11,6	1,36	1,4	72,8	25,7

^a Comprende el pericarpio y la piloriza

^b Comprende la cubierta seminal (1,3 por ciento) y la cascara (54,3 por ciento)

^c La muestra contenía 0,26 por ciento de nitrógeno. El teosinte descascarado contenía 3,81 por ciento de nitrógeno

^d Comprende el germen

Fuente: Bressani y Nierz, 1958

CUADRO 3

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

Parte del grano	Materia seca (%)			Nitrógeno (%)		
	Normal	Normal	Opaco-2	Normal	Normal	Opaco 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 Mourcaux, 1980

PRODUCCION 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. La emigración de los

CUADRO 4
Producción de maíz en el mundo

Región y año	Superficie cultivada (1 000 ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (1 000 MT)
África			
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
América 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

(cont.)

CUADRO 4 (continuación)

Región y año	Superficie cultivada (1 000 ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (1 000 MT)
Oceanía			
1979-1981	76	4 359	332
1985	124	3 804	471
1986	107	4 402	471
1987	84	4 302	363
URSS			
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

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 éste. 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 MAÍZ

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 sémola de partículas de diferentes tamaños, sémola 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 (Earll *et al*, 1988, Burge y Ducensing, 1989). La molienda húmeda es un procedimiento que se utiliza fundamentalmente en la aplicación industrial del maíz, aunque el procedimiento de cocción 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 sólo 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 panojas, como por ejemplo, furfural y xilosa. Estos residuos también tienen importancia como elementos para mejorar los suelos.

Capítulo 2

Composición química y valor nutritivo del maíz

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 maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento) (Burge y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo. Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por

CUADRO 5

Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	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.

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 1 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 sólo 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. El aceite de germen

CUADRO 6

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

Aminoácido	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.

^b2,32 por ciento de N.

Fuente: Orr y Watt, 1957.

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 FAO/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

CUADRO 7
Proteínas netas del grano entero, el germen y el endospermo de variedades de maíz guatemalteco*

Muestra	Amarillo	Azotea	Cuarenteño	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 (%)

Tipo	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra cruda	Extracto etéreo	Hidratos de carbono
Salpor	12,2	1,2	5,8	0,8	4,1	75,9
Crstalino	10,5	1,7	10,3	2,2	5,0	70,3
Hannoso	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 y Wild-Altamirano, 1972.

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 cáscara de los granos.

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 éstas la prolamina 1 o zeína 1 soluble en isopropanol al 55 por ciento representa aproximadamente el 42 por ciento, y el restante 10 por ciento es prolamina 2 o zeína 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

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.

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.

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-1). 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 triptofano. 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 carencias de lisina y triptofano, en relación con el MPC. Otro rasgo importante es el elevado contenido de leucina del maíz común 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. Sólo 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 (%)

Aminoácidos	Guatemalteco					EE.UU.			MPC duro	MPC blando	Modelo FAO/OMS
	Cuyuta (blanco)	SSD (blanco)	TGY (amarillo)	I4248 (amarillo)	4251 (híbrido)	HO (blanco)	H5 (amarillo)	HP (blanco)			
(Nitrógeno)	1,28	1,37	1,57	1,83	1,31	1,99	2,24	2,91	1,74 ^a	1,71 ^a	-
Acido aspártico	6,5	5,8	6,1	6,0	6,2	6,0	6,8	6,1	8,7	8,9	-
Acido glutámico	15,4	14,0	13,5	15,0	14,6	13,9	12,4	12,8	19,8	19,2	-
Alanina	7,5 ^b	12,5	10,3	8,6	8,9	6,4	10,8	9,9	-	-	-
Arginina	3,5	3,6	4,1	2,9	3,9	4,6	3,6	3,9	6,3	6,7	-
Cistina	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,5	1,2	1,4	2,2	1,9	-
Fenilalanina	4,4	4,6	4,4	5,4	4,5	2,9	5,3	5,7	5,2	4,1	6,0 ^c
Glicina	3,1	2,8	2,9	2,6	3,3	3,4	2,6	2,8	4,6	4,6	-
Histidina	2,1	2,0	2,2	2,1	2,8	2,3	2,0	2,2	3,7	3,6	-
Isoleucina	2,6	2,7	3,4	3,0	3,3	3,5	3,7	4,0	3,5	3,5	4,0
Leucina	10,5	12,0	12,2	13,4	12,2	7,8	13,6	15,2	9,1	8,7	7,0
Lisina	2,8	2,1	2,6	2,3	2,9	3,2	2,1	2,0	4,5	4,4	5,4
Metionina	1,3	1,2	1,0	1,0	1,6	1,2	1,7	1,1	1,7	1,8	3,5 ^d
Prolina	8,1	7,4	6,6	9,6	10,3	9,3	8,3	6,8	8,4	8,1	-
Serina	4,5	4,2	4,6	4,5	4,6	4,8	5,0	5,5	4,3	4,5	-
Tirosina	2,9	3,0	3,0	3,3	3,4	3,5	3,6	4,1	3,7	3,7	-
Treonina	3,1	2,9	3,1	3,0	3,3	3,2	3,1	3,3	3,6	3,7	4,0
Triptofano	0,63	0,47	0,51	0,44	0,49	0,56	0,43	0,44	0,9	1,0	1,4
Valina	4,1	4,1	4,3	4,0	4,6	2,1	4,3	4,6	5,4	5,3	5,0

HO: maíz con elevado contenido de aceite.
 H5, HP: maíz con elevado contenido de proteínas.
^aPorcentaje de proteínas crudas (N x 6,25), g/16 g N.
^bDesecarado.
^cTotal de aminoácidos azufrados.
^dTotal de aminoácidos aromáticos.
 Fuentes: Bressani y Mertz, 1953; Mertz *et al.*, 1975.

CUADRO 11

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

Variedad de maíz	C16:0 Palmitico	C18:0 Estearico	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 neutro-detergente, 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 maíz N°	FND	FAD	Hemicelulosa	Lignina	Paredes 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 vías 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. Así, por ejemplo, se ha determinado que, en granos

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
Zn	4,6 ± 1,2

Fuente. Bressani, Breuner y Ortiz, 1989.

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 común 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 común 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 equivalía aproximadamente al 22 por ciento del total de carotenoides (6,4-11,3 µg/g) de tres muestras de maíz amarillo. El contenido de criptoxantina equivalía 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 expondrá 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 µg/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 pequeñísimas.

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. Las proteínas solubles en alcohol aumentan velozmente a medida que madura el grano, al tiempo que disminuyen las

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 coracán	35,7
Tef	56,2
Centeno	64,8

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 sólo 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 éstas 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 (Nutrieta) 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, Elías y Braham, 1968) han mostrado que al agregar lisina al maíz sólo 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 (Hogan *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 investiga-

dores 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.

Capítulo 3

Tecnología postcosecha: la preelaboración

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 ésta se hace aún manualmente. El sistema mecanizado no sólo 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 empapen 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°C (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 post-cosecha 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 sólo 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 método consiste en colocar el grano recolectado en un recipiente, una capa tras otra. Cada capa de grano se seca parcialmente antes de colocar la siguiente. El grano 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 éste 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 métodos 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 útiles 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— utilizarán el grano como fuente de elementos de nutrición y con ello ocasionarán 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 almacenó 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 Mills, 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 úrico, 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, Tuite y 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 sólo cambió levemente al cabo de año y medio a 20°C. Se observó una gran variabilidad de la interacción insectos-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 habían 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.* (1970a), 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 substrato 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 simientes 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 destoxificación.

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 áspera 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.

CLASIFICACION 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, 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 rasgo 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 esté contaminado por hongos.

Tecnología postcosecha: la elaboración

MODALIDADES DE CONSUMO DEL MAÍZ

El maíz se consume en muchas formas distintas, desde la sémola para polenta y pan de maíz, al maíz para rosetas y productos como los copos de maíz (Rooney y Serna-Saldívar, 1987). El grano se fermenta para elaborar *ogi* en Nigeria (Oke, 1967) y otros países de África (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 maíz que se sazona con alholva y se fermenta mediante una levadura de masa agria. La harina fina de maíz 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 período 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 Líbano se consume un producto similar llamado *markouk*.

El maíz 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 cuele 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 espigas de maíz y cociéndola 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, podrían 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 maíz 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 maíz, denominado entonces nixtamal, se lava dos o tres veces con agua para eliminar las cubiertas seminales, las pilorizas, la cal sobrante y las impurezas del grano. La añadidura 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 maíz 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 maíz blanco como el amarillo, pero la concentración de cal varía de 0,17 por ciento a 0,58 por ciento según el peso del maíz, 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 cal 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 cal 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 envía 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, la calidad 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 habría transformado en masa. Otra cuestión conexa 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 (14 ó 15 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 disminuyó la calidad nutritiva del producto, sobre todo cuando se llevó a cabo durante 60 minutos. El método de cocción bajo presión sin cal no redujo el contenido de fibras crudas, que es uno de los efectos concretos de la cal, 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 empleó un sistema de reflujo (condensación). Hallaron que los métodos de cocción influían en el total de materia seca que se perdía 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 fisicoquímicas y organolépticas idénticas a las de la muestra de referencia elaborada según el método tradicional, pero que diferían de las de un producto comercial.

La cocción por extrusión también ha sido evaluada como tecnología para producir harina para tortillas. Bazua, Guerra y Sterner (1979), utilizando un extrusor Wenger X-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 dependía 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 gránulos 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 producían 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 córneo necesitaba más tiempo de cocción. Bedolla y Rooney (1984) afirmaron que en la textura de la masa influían 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 disminuía ligeramente el tiempo de cocción. Además, conocer la dureza inicial de una variedad permitía

predecir el tiempo necesario para cocerla. Khan *et al.* (1982) y Bedolla y Rooney (1982) midieron un parámetro al que denominaron fuerza 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 influyó 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 Wild-Altamirano (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 disminuían 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 interpretó 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.

PREPARACION DEL OGI Y OTROS PRODUCTOS DE MAIZ 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 sí 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 tamiza 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 sólido 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 *Ephalosporium*, *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 *Rhodotorula*.

Aunque se cree que el *ogi* 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 *ogi* 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.* (1987), estudios que han resultado útiles también para evaluar la eficacia en la fabricación de *ogi* de distintas variedades de granos de cereal. Los autores

citados han analizado también el rendimiento de *ogi* 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 *ekotutu*. 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.

PREPARACION 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 tuestan 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, Figueroa 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 sémola; la segunda, en elaborar la sémola 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, Bañados y Fernández (1989): las humitas se elaboran con harina de maíz precocida que se asemeja a la masa tratada con cal, empleando maíz común u opaco-2 no madurado, al que se añaden otros ingredientes. Otros productos son el mote, elaborado con maíz cocido y queso, las pupusas, 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 común 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, sémolas 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 sémola 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 sémola 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 sémolas en escamas, sémolas gruesas, sémolas 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 maltodextrinas, los que tienen múltiples aplicaciones en la elaboración de alimentos.

Capítulo 5

Cambios físicos y químicos durante la elaboración

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.

Perdidas 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. En otros estudios en que se evaluaron variaciones de la

CUADRO 16

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

Producto	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Hidratos de carbono (%)	Calorías (por 100 g)
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
Blanco	13,8	8,3	—	1,2	—	—	—
Tortillas							
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 y Scrimshaw, 1958; Cravioto *et al.*, 1945; Ranhotra, 1985; Saldana y Brown, 1984.

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 tropical 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 proteicos. 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 éter –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 éter. Se ha establecido que las pérdidas de fibra cruda ascienden aproximadamente al 46 por ciento en el maíz blanco 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. Plugfelder, Rooney y Waniska (1988b) comprobaron pérdidas del 11,8 al 18,1 por ciento e indicaron que se podían deber parcialmente a la enérgica 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. Esta pérdida no ha sido explicada exhaustivamente, si bien puede

CUADRO 17
Contenido de ácidos grasos del maíz común, MPC y las respectivas tortillas (%)

Producto	C16:0 Palmítico	C18:0 Estearico	C18:1 Oleico	C18:2 Linoleico
Maíz común	12,89	2,92	37,08	47,10
MPC opaco-2	15,71	3,12	36,45	43,83
Tortilla de maíz común	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.

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 común 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 diferían 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 contenía un 3,18 por ciento y las tortillas un 2,89 por ciento. Empleando ese mismo método,

CUADRO 18

Fibra dietética del maíz común, MPC y tortillas (%)

Producto	Fibra dietética insoluble	Fibra dietética soluble	Fibra dietética total	Fibra neutro detergente	Fibra ácido-detergente	Hemicelulosa	Lignina
Maíz común en bruto	11,0	1,4	12,4	10,8	2,8	8,0	0,13
Tortilla de maíz común	9,5	1,4	10,9	9,0	3,0	6,0	0,15
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 tipo 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, 1985; Reinhold y Garcia, 1979

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 homeado (Ranhotra y Gelroth, 1988).

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 cabía esperar por la cal que se

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	Cl	Cu	Mn	Zn
Maíz en bruto	300	325	48	108	54	4,8	1,3	1,0	4,6
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 al.*, 1990; Krause, 1988; Ranhotra, 1985; Vargas, Muñoz y Gomez, 1986

utiliza para la cocción. Junto a éste 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 debía 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 constató una disminución del azúcar, que pasó 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 influía 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 disminuyó considerablemente, resultando las proteínas solubles en alcohol las más afectadas. Sólo se detectó 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 aumentó 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 Landry-Moureaux (1970). La solubilidad de las zeínas verdaderas disminuyó 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 globulina-nitrógeno, 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 ácidos ponía de manifiesto 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 común 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 común 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 común en agua de cal. Ortega, Villegas y Vasal (1986) hallaron una pequeña pérdida de triptofano en las tortillas de maíz común (11 por ciento) y de MPC (15 por ciento). En

CUADRO 20
Variaciones de los aminoácidos durante la cocción alcalina del maíz
(g/16 g N)

Aminoácido	Maíz	Tortilla	Maíz	Masa	Tortilla	MPC	Masa
Acido aspártico	6,2	6,2	7,2	6,9	5,8	8,4	8,4
Acido glutámico	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
Cisteína	—	—	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
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
Triptófano	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

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 común y en el MPC Nutricia transformado en tortillas mediante procedimientos de elaboración tradicional campesina. Ortega, Villegas y Vasal (1986) han indicado también que, dadas las pequeñísimas pérdidas de lisina del producto alcalino, probablemente había 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)

Producto	Tiamina	Riboflavina	Niacina	Acido fólico	Acido pantoténico	Vitamina B ₆	Caroteno	Total de carotenoides
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, 1958, Cravioto *et al.*, 1945, Ranhotra, 1984, Saldana y Brown 1984

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 alfa-amina, 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 íleon, 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 desnaturación 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 pelagagénico. 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 pelagagénica, 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 influía 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 sólo 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 podría 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 suplementa 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 superior a 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

CUADRO 22
Calidad proteínica del maíz y las tortillas

Tipo de maíz	Calidad proteínica (PER)		
	Maíz	Tortillas	Caseína
Común	1,13 ± 0,26	1,27 ± 0,27	
Común	1,49 ± 0,23	1,55 ± 0,23	2,88 ± 0,20
MPC (opaco-2)	2,79 ± 0,24	2,66 ± 0,14	2,88 ± 0,20
Común	1,38	1,13	2,50
Común tropical	0,99 ± 0,25	1,41 ± 0,11	2,63 ± 0,17
Común serranía Xetzoc	0,96 ± 0,19	1,41 ± 0,20	2,63 ± 0,17
Común serranía Azotea	1,02 ± 0,19	1,41 ± 0,17	2,63 ± 0,17
Común serranía 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 común	59,5	59,1	69,4
Aprovechamiento neto de las proteínas del maíz común	51,2	49,4	64,5

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.

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-Saldívar *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 cocía 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 disminuía 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. Chu, Pellet y Nawar (1976) hallaron valores de 133,2 µg de LAL por gramo de proteínas si se elaboraba el maíz con 4,1 mol 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 *Chaetosporium 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 álcali. 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 B1 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 Solórzano 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 del grano 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 B1 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 destruían con el tratamiento con cal ni a temperaturas de 110°C.

Según Price y Jorgensen (1985), el proceso de cocción en agua de cal disminuía 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 destruyó 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 debían 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 10^3 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 aún 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 disminuyó 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: epícloridrina 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 MAÍZ 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 *Aerobacter cloacae*, *Lactobacillus plantarum* y una combinación de las dos bacterias, y comparó los valores

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 10^3 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 aún 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 disminuyó 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: epícloridrina 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 dimetilfumato, 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 *Aerobacter cloacae*, *Lactobacillus plantarum* y una combinación de las dos bacterias, y comparó 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 Duitschaever (1974) estudiaron la composición aproximada del *ogi* elaborado con maíz común 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 disminuía el contenido proteico del maíz, pero la cantidad total de lisina y la lisina asimilable disminuían considerablemente. En cambio, los niveles de triptofano 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 éterico, 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 común; 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

Chávez (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. Chávez (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, *ogí*, *pozol*, *kenkey* 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 sémola en copos, la sémola 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 sémola 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 proteínica 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 proteínica 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 sémola del 8,8 por ciento, en tanto que el rendimiento de sémola 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 sémola, 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).

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

CONSUMO DE MAÍZ

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 Elías, 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. Las proteínas digeribles, teniendo en cuenta una digestibilidad real

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

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)

del 70 por ciento, eran únicamente 1,0, 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.

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

CUADRO 24

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

País	Ingesta (g/persona/día)	Calorías (por persona/día)	Proteínas (g/persona/día)
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
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

País (de norte a sur)	Ingesta de maíz en zonas urbanas (g/día)	Ingesta de maíz 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
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

de maíz disminuye de norte a sur. 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) señaló 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.

MAÍZ COMUN

Calidad de las proteínas que consumen los niños

Varios investigadores han analizado la calidad proteínica del maíz que se da a niños en vías de recuperación de una malnutrición proteicoenergética. 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, sin 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 íntegro, 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.

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,

CUADRO 26

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

Ingesta de proteínas (g/kg/día)	Nitrógeno (mg/kg/día)			Porcentaje de la ingesta	
	Ingesta	Absorbido	Retenido	Absorbido	Retenido
3	470 (453 a 479)	339 (327 a 369)	9 (-8 a 174)	72 (61 a 77)	2 (-2 a 36)
2	331 (308 a 367)	260 (207 a 284)	22 (-41 a 59)	78 (65 a 82)	7 (-13 a 17)
1,5	238 (235 a 241)	180 (168 a 193)	-11 (-22 a -2)	76 (70 a 82)	-4 (-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

Balance de nitrógeno de niños alimentados con maíz común 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 (173 a 210)	157 (114 a 181)	75 (40 a 106)	80 (61 a 87)	38 (22 a 50)
Maíz común	1,25	192 (183 a 198)	144 (129 a 157)	30 (10 a 55)	75 (66 a 80)	16 (5 a 30)

Nota: Las cifras son valores promedio; entre paréntesis figura la amplitud.
Fuente: Viteri, Martínez y Bressani, 1972.

incluido el endospermo del MPC, tienen en todos los casos una calidad proteínica inferior a la del grano entero. De igual modo, el maíz con un contenido elevado de zeína 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.

Suplementación con aminoácidos

Es ampliamente reconocido que las proteínas del maíz son deficientes en lisina y triptofano, como han demostrado los estudios realizados con

CUADRO 28

Balance 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.

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 (ésta en una proporción de 243 mg por g de N). La adición de metionina disminuyó la retención de nitrógeno.

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.

Se llevaron a cabo estudios similares alimentando a niños con 2 g de

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)

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 + triptofano + lisina	464	135	243	329	86
B + triptofano + 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	Nitrógeno 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 N 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.

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.

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 lisina 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.

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.

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 sólo 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 a 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 única-

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)

Dieta	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno fecal	Nitrógeno en la orina	Nitrógeno absorbido	Nitrógeno retenido
Basal (B)	241	71	187	170	-17
B + lisina ^a	239	59	184	180	-4
B + lisina ^b	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

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)

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 + triptofano	465	33	327	-17	—	—
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; Frey, 1951; Mitchell, Hamilton y Beadles, 1952.

mente 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 consideró que se debía 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 maíz (Bressani, 1962, 1963).

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

CUADRO 34
Balance de nitrógeno como resultado de suplementar el maíz con múltiples aminoácidos (mg/kg/día)

Dieta	Ingesta de nitrógeno	Nitrógeno fecal	Nitrógeno en la orina	Nitrógeno absorbido	Nitrógeno retenido
Basal (B)	471	117	315	354	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
B + lisina + triptofano + metionina* + valina + isoleucina + treonina	450	129	238	321	83

*0,14 por ciento de DL-metionina sólo en esta dieta, en las demás 0,34 por ciento.

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

Fuente: Scrimshaw *et al.*, 1958.

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 PROTEINAS DE ALTA CALIDAD

Niños

El gran consumo de maíz de los habitantes de diversos países de América Latina y Africa, 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 (zeína) 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 opaco-2 (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 desprendía de los datos químicos y de los ensayos biológicos llevados a cabo con ratas.

La calidad proteínica del maíz opaco-2 tratado con cal fue evaluada 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.

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 nitrógeno metabólico fecal hallado en los niños, la digestibilidad proteica real fue del 83,8 por ciento. De estos resultados se desprende que

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	Nitrógeno absorbido	Nitrógeno retenido	% de la ingesta de N absorbido	% de la ingesta de N retenido
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

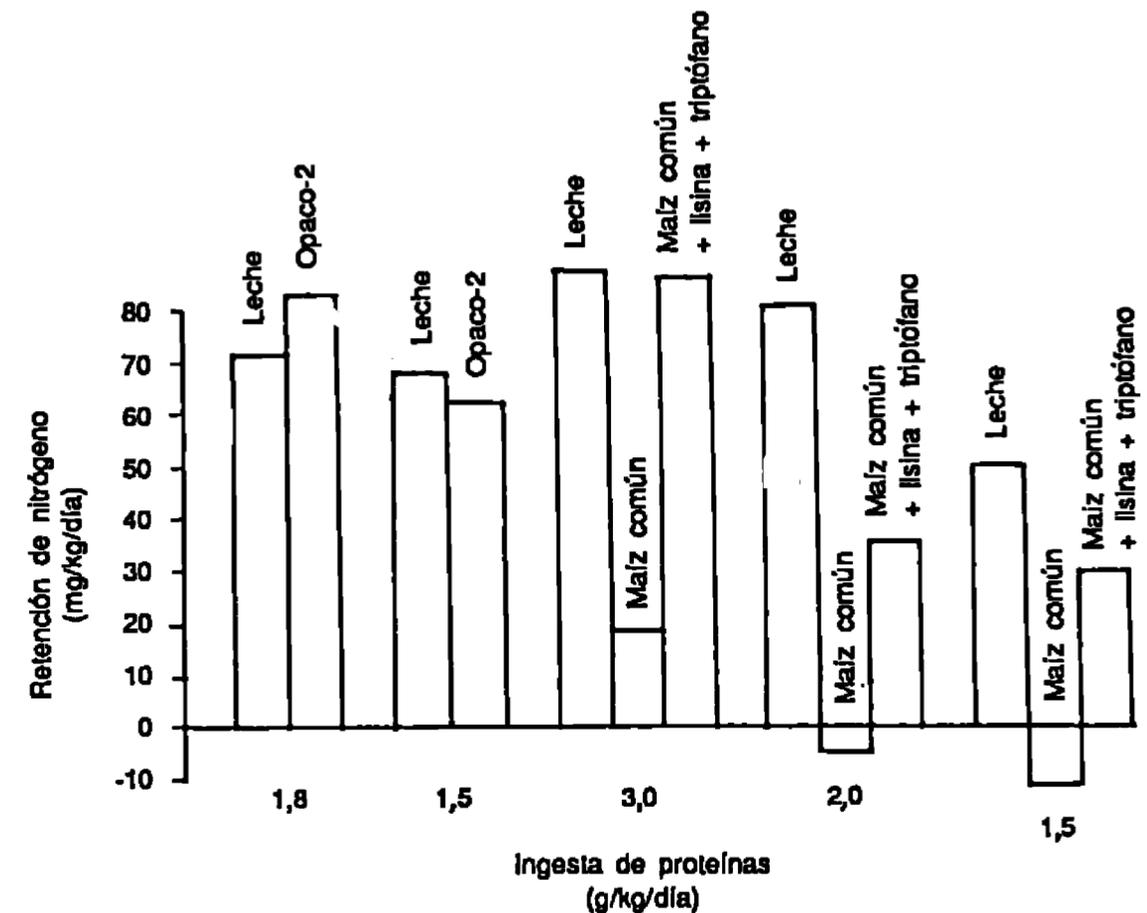
Fuente: Bressani, Alvarado y Viteri, 1969.

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

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,

FIGURA 2
Retención de nitrógeno en niños alimentados con leche, maíz común, solo y suplementado, y maíz opaco-2



1963). 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 se observa claramente la diferencia entre el valor nutritivo de las proteínas del maíz opaco-2 y las del maíz común, obtenida 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 triptofano. Cabe señalar que, incluso a ingestas diarias de 400 ó 500 g de maíz común, la retención de nitrógeno es muy baja, disminuyendo incluso a niveles inferiores cuando se reduce la ingesta a 200 ó 300 g por día. En cambio, con maíz opaco-2, ingestas de 140 ó 230 g por día dan lugar a una retención positiva que sobrepasa incluso la obtenida 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 opaco-2 tiene un valor nutritivo superior al del maíz común. Ahora bien, señalaron que se debe controlar cuidadosamente su empleo para alimentar a niños de

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 cristalino*	87	65	75	1,50
H-208 común	78	36	47	0,93

*Alto contenido de lisina y triptofano.
Fuente: Pradilla *et al.*, 1973.

corta edad con un ritmo elevado de crecimiento, y que no podían 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 podían 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.

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 debía 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.

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 húmedo (g/día)	Energía (kcal/día) [% de la ingesta]	Grasas (g/día) [% de la ingesta]	Hidratos de carbono (g/día) [% de la ingesta]	Ingesta de nitrógeno (mg/día) [% absorbido % retenido]	Aumento de peso corporal		Albúminas de suero (g/100 ml)	
							(g/día)	(g/kg/día)		Modificación
Caseína	80 ± 33 ^a	14 ± 4 ^a	48 ± 11 ^a [6 ± 1 ^a]	1,3 ± 0,4 [14 ± 4]	5 ± 2 ^a [3 ± 1 ^a]	2 181 ± 292 [82 ± 4 ^a 41 ± 9 ^a]	33 ± 6	5,4 ± 1,0	0,0 ± 0,4	3,8 ± 0,3
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	3,9 ± 2,7	0,0 ± 0,4	3,7 ± 0,5
Maíz común	129 ± 19 ^b	34 ± 5 ^b	137 ± 17 ^b [16 ± 1 ^b]	1,3 ± 0,3 [13 ± 4]	24 ± 4 ^b [13 ± 1 ^b]	2 256 ± 299 [69 ± 7 ^b 22 ± 10 ^b]	18 ± 16	2,6 ± 2,3	-0,3 ± 0,3	3,6 ± 0,4

Nota: Los valores de una misma columna con distintas letras difieren notablemente entre sí (P>0,05). Los valores aparecen expresados en promedios ± desviación estándar.
Fuente: Graham *et al.*, 1989.

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 ó 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, éste era muy superior al maíz común y daba una respuesta sólo levemente inferior a la observada con alimentación a base de leche.

Graham *et al.* (1989) afirman lo siguiente: «Para quien esté 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 proporcionará 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, 200 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

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)	Nitrógeno* (g)		
		Inceces	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

*Ingesta total de nitrógeno: 6,00 g.
Fuente: Clark *et al.*, 1967.

un balance negativo. 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 tenían 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 sí 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 obtenida 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.

Aplicando un valor biológico de 82 por ciento en el caso del maíz opaco-2, 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

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	Comun
Cantidad de maíz	250	547
Proteínas*	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

*La 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.

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 MAÍZ COMÚN 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 recurrirá 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 éste 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 elevado, 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 influiría 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.

Capítulo 7

Cómo mejorar el valor nutritivo del maíz

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.

MÉTODOS GENÉTICOS

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 (1983) 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 gránulos 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, Huber 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 proteínica 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 aquél 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 agrónomica 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 sólo 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 éstos que indican que es posible mejorar la calidad de las variedades de maíz. Mertz, Bates y Nelson (1964) hallaron que el gen opaco-2 aumentaba considerablemente el contenido de lisina y triptofano del endospermo del maíz. Además, disminuía 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 podía 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 agronómicas 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 Ponleit y Alexander (1965), podría deberse 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.

ELABORACION

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 describió 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, Elías 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 proteicos 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 harina de 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

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.

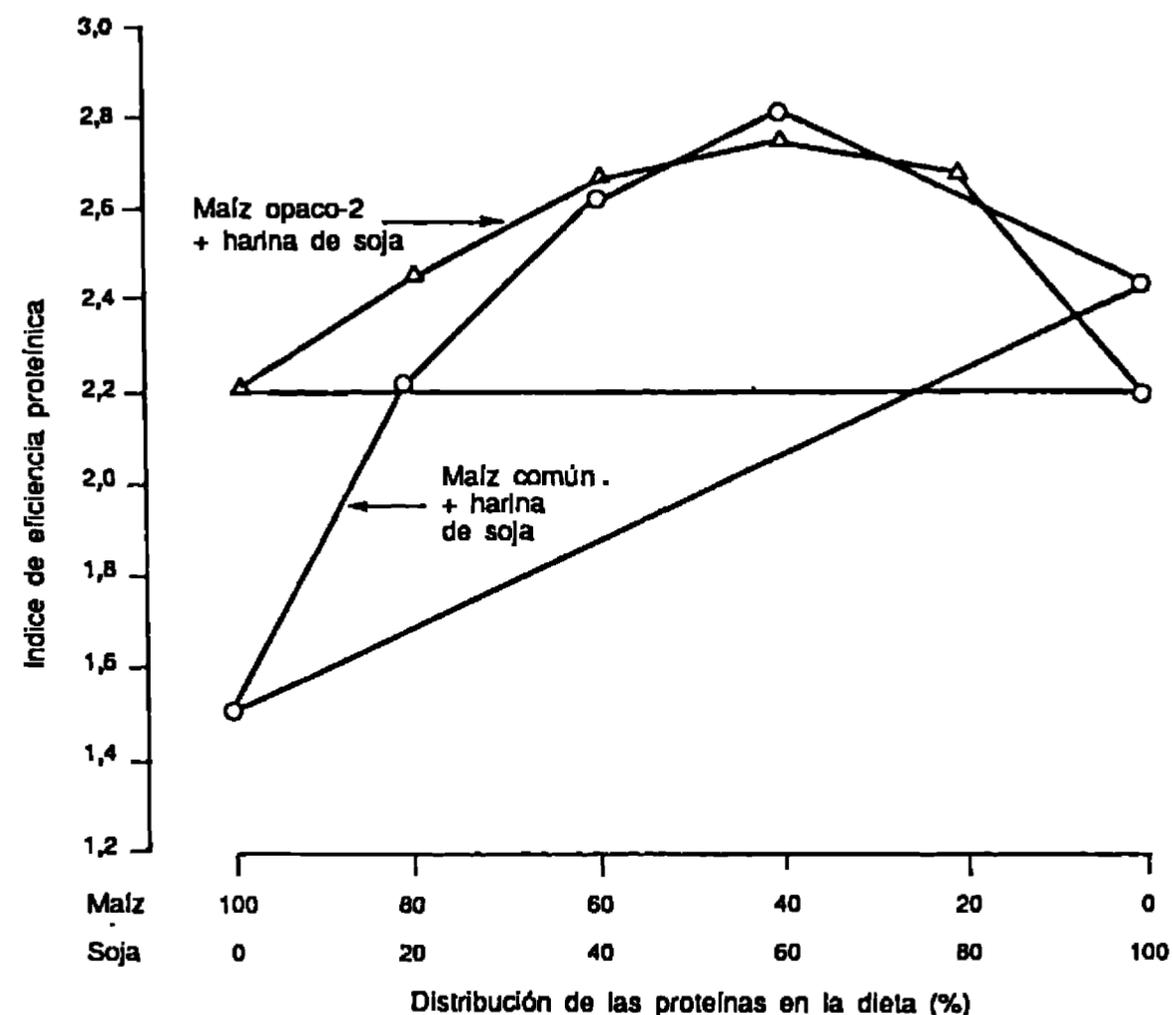
suplemento de la harina para tortillas con el que más han experimentado distintos investigadores, y dado que también se trata del único experimentado con niños, con resultados comparables a los obtenidos en estudios con animales, en esta sección se analizará su importancia y efectos.

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, Elías y Braham, 1978; Bressani *et al.*, 1981). Se analizarán 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 proteínica. 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

FIGURA 3

Indice de eficiencia proteínica de diversas combinaciones de maíz común u opaco-2 y harina de soja



	Lisina	Triptófano	TAAA*
	mg/g N		
Maíz común	180	38	197
Maíz opaco-2	306	94	234
Harina de soja	395	86	195

*Total de aminoácidos azufrados

familia; la soja es un cultivo muy económico que, además de proporcionar un producto alimenticio de cantidad y calidad proteínica elevadas, constituye una fuente de energía adicional gracias al aceite que contiene.

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

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)			Porcentaje de nitrógeno	
							Ingesta	Absorbido	Retenido	Absorbido	Retenido
Leche	7	11	24	14	103	1,25	195 (173-210)	157 (114-181)	75 (40-106)	80 (61-87)	38 (22-50)
Maíz normal	6	12	30	16	104	1,25	192 (183-198)	144 (129-157)	30 (10-55)	75 (66-80)	16 (5-30)
Maíz + soja + lisina	6	12	30	16	104	1,25	197 (189-203)	154 (144-169)	63 (52-77)	78 (73-85)	32 (25-38)

Nota: El maíz suplementado con soja y lisina contiene 91,75 por ciento de maíz, 8 por ciento de soja y 0,15 por ciento de lisina.

Fuente: Viteri, Martínez y Bressani, 1972.

edad. También se ha demostrado que otros alimentos a base de maíz, como las arepas y los confectionados con maíz fermentado, mejoran si se suplementan con harina de soja.

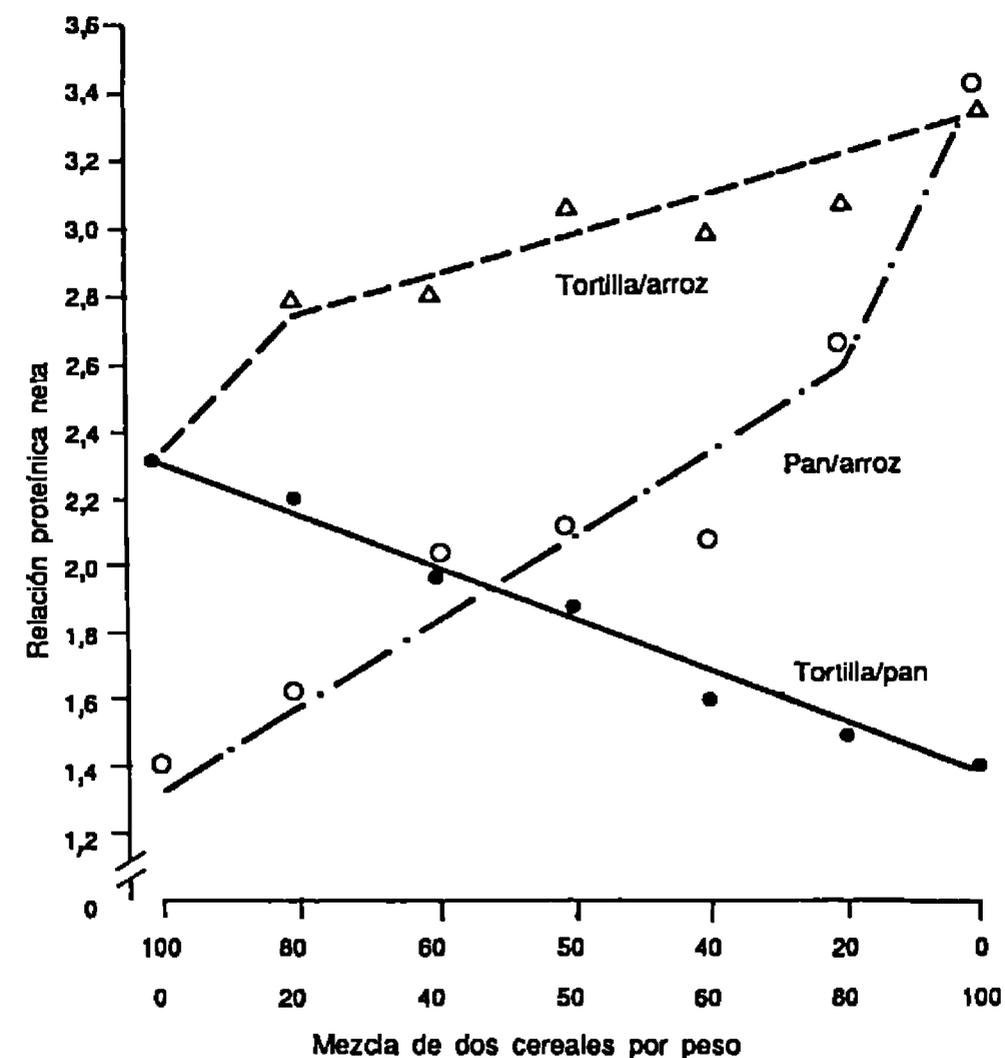
Maíz suplementado con hortalizas verdes

En algunos países se consume la masa en forma de tamalitos, es decir, evoliéndola en las espaldas o chala del maíz y cociéndola 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 la calidad 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 dos 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 común, 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. Más recientemente, se ha demostrado que mezclas de grano de amaranto con harina de maíz cocido en agua de cal

FIGURA 4
Valor proteínico de mezclas de dos cereales



8,1	9,2	10,4	11,1	11,5	12,6	13,8	T/P
8,1	7,9	7,0	7,3	7,2	7,0	6,8	T/A
13,8	11,8	11,1	10,2	9,4	7,9	6,8	P/A

Proteínas (%)

T=Tortilla A=Arroz P=Pan

Fuente: Bressani y Elías, 1981.

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.

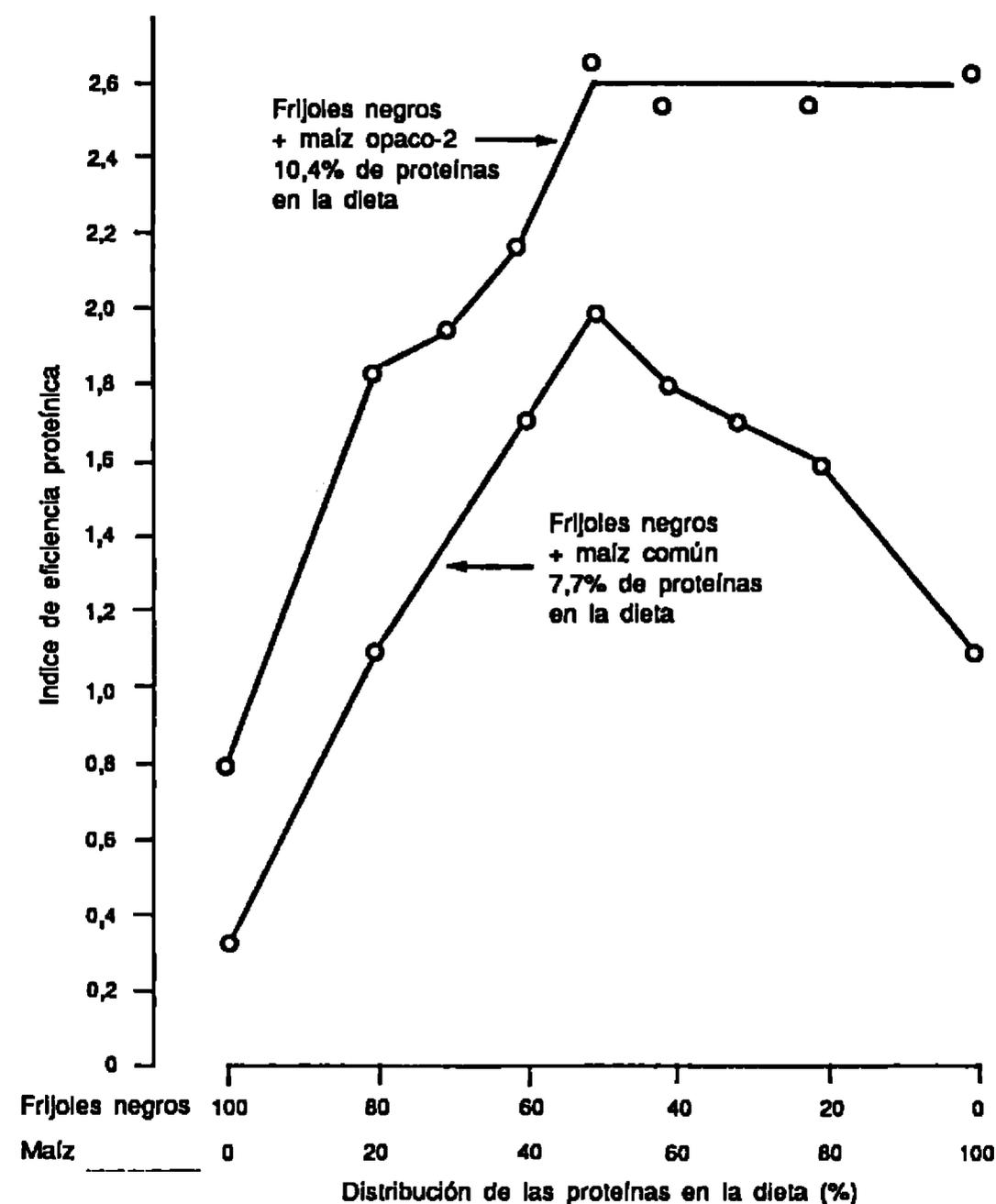
Alimentos con proteínas de alta calidad

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 procedía 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 proteínica. 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 comercial-

FIGURA 5
Índice de eficiencia proteínica de las combinaciones de maíz común u opaco-2 y frijoles negros



	Lisina	Triptófano	TAAA*
	mg/g N		
Maíz común	180	38	197
Maíz opaco-2	306	94	234
Frijoles negros	464	58	125

*Total de aminoácidos azufrados

Fuente: Bressani, 1988.

mente en Bolivia. 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.

Capítulo 8

Mejora de las dietas a base de maíz

El valor nutritivo del maíz es muy similar al de otros cereales, siendo algo superior al de la harina de trigo y sólo ligeramente inferior al del arroz. Estos tres cereales son los que más se consumen en el mundo. El problema del maíz radica en la dieta de la que forma parte, que es muy deficiente en el tipo de alimentos complementarios necesarios para mejorar los elementos nutritivos ingeridos con cantidades relativamente grandes de maíz. Los consumidores de maíz tendrían un mejor estado nutricional si el maíz que ingieren poseyera los genes de lisina y triptofano del MPC, o si lo consumiesen junto con una cantidad suficiente de alimentos proteicos como legumbres, leche, soja y semillas y hojas de amaranto. En esta sección se exponen diversas posibilidades obtenidas como resultado de estudios llevados a cabo con miras a mejorar la calidad nutritiva de las dietas basadas en el maíz.

CONSUMO DE MAIZ Y LEGUMBRES

En todo el mundo, y especialmente en los países en desarrollo, la dieta se basa normalmente en el consumo de un cereal, por lo general maíz, sorgo o arroz, y de una legumbre, ya sean frijoles comunes o cualquier otra. Los resultados de muchos estudios han mostrado que estos dos tipos de alimentos fundamentales se complementan nutritivamente entre sí. Así, por ejemplo, se observó un efecto complementario al alimentar a animales con dietas que suministraban las proteínas a partir de esos dos componentes —maíz y frijoles comunes— en diversas proporciones, que variaban del 100 al 0 por ciento de uno y del 0 al 100 por ciento del otro. Cuando cada componente suministraba cerca del 50 por ciento de las proteínas de la dieta, se obtenía una calidad elevada, superior a la calidad de cada uno de los componentes

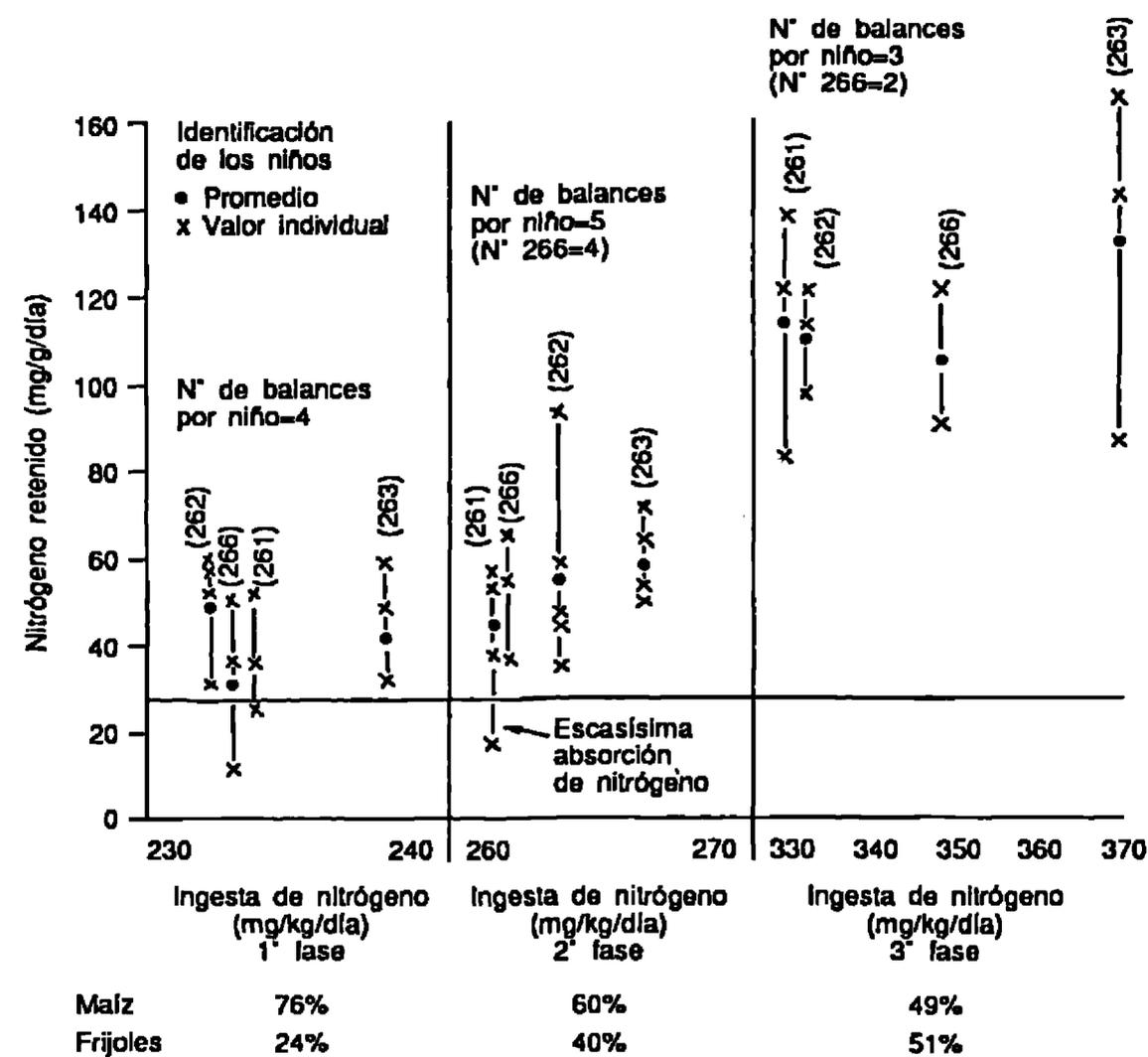
considerado aisladamente. La causa de ello radica en la composición de aminoácidos esenciales de cada componente. Las proteínas del maíz son deficientes en lisina y triptofano, pero tienen cantidades considerables de aminoácidos que contienen azufre (metionina y cistina). Las proteínas de las legumbres, en cambio, son una fuente relativamente abundante de lisina y triptofano, pero tienen un contenido bajo de aminoácidos azufrados (Bressani y Elías, 1974). Mediante estos estudios se llegó a la conclusión de que la mejor manera en que las proteínas de los frijoles o de las legumbres alimenticias complementan a las proteínas del maíz es en una proporción de 30 partes de frijoles por 70 partes de maíz.

Esta complementariedad se halla asimismo entre el maíz y el caupí, frijol mungo, soja y otras legumbres. La respuesta es idéntica aunque el nivel de proteínas de la dieta no esté fijado, como en el ejemplo anterior, sino que varía según el contenido proteico de cada componente. Se han obtenido resultados positivos añadiendo aceite a la dieta en cantidades variables de 0 a 10 por ciento. También es importante notar que la ingesta de alimentos fue mayor al nivel máximo de complementación; es decir, también se observó una ingesta mayor de energía.

Quienes afirman que en la dieta la energía es más limitante que las proteínas pasan por alto la gran importancia de la calidad de las proteínas. Se ha demostrado que el efecto complementario descrito anteriormente también tiene lugar en los seres humanos. Se examinaron los resultados del balance de nitrógeno en estudios con niños alimentados a base de maíz tratado con cal y frijoles en dos proporciones fijas y *ad libitum*, según los deseos de los propios niños (Figura 6). El balance de nitrógeno en la proporción fijada en la 1ª fase (76:24) fue inferior al de una alimentación en una proporción de 60:40 de maíz/frijoles (2ª fase). El balance de nitrógeno mejoró cuando se permitió a los niños elegir, y la elección se aproximó a 7 partes de maíz por 3 partes de frijoles, en peso. Igualmente importante es que también aumentó la ingesta total de alimentos. La proporción en la ingesta habitual de maíz y frijoles, según encuestas sobre dietas llevadas a cabo en el decenio de 1960, variaba entre 11:1 y 18:1, por lo que el suplemento que aportaban los frijoles era relativamente pequeño. Datos más recientes (García y Urrutia, 1978), relativos a niños de tres años

FIGURA 6

Retención de nitrógeno en niños alimentados con dietas a base de maíz y frijoles



de edad, daban una proporción de 8:4 de maíz/frijoles, y aún menor en los niños de 6 a 11 meses de edad.

Las combinaciones de proteínas de maíz y frijoles, experimentadas con animales, aunque de valor proteico relativamente elevado, no sirven para tratar a niños con malnutrición proteica. Además, el aumento detectado por Arroyave *et al.* (1961) en los niveles de aminoácidos del plasma tras una alimentación experimental a base de leche fue muy superior, al cabo de un período de tratamiento con una combinación de maíz y frijoles del 1:1, a la

respuesta observada cuando se suministraban proteínas lácteas tras un tratamiento con leche o con una mezcla vegetal formada por maíz, harina de semillas de algodón, levadura torula y minerales (Bressani y Scrimshaw, 1961). Estos autores confirmaron la insuficiencia de la dieta a base de maíz y frijoles. Del mismo modo, han resultado relativamente bajos los resultados en lo tocante al balance de nitrógeno obtenidos en niños alimentados con mezclas de maíz y frijoles, frente a los alimentados con leche y otras proteínas vegetales. Gómez *et al.* (1957) efectuaron experimentos sobre el balance de nitrógeno con ocho niños, de uno a cinco años de edad, que padecían desnutrición grave crónica, a quienes se dio una dieta de frijoles y harina de maíz. Tanto la absorción como la retención de nitrógeno fueron sumamente variables según los niños: cuatro registraron un balance de nitrógeno positivo y cuatro negativo. La adición de triptofano y lisina a la dieta de maíz y frijoles mejoró considerablemente la absorción y la retención de nitrógeno en cuatro casos. En dichos estudios, no se dio indicación alguna de las cantidades de maíz y frijoles mezclados, y la ingesta de proteínas varió de 1,53 g a 8,50 g al día. Frenk (1961) obtuvo asimismo resultados mediocres en niños alimentados con maíz y frijoles. Se consiguió una importante mejora al complementar esa dieta con harina de pescado.

Al igual que otros investigadores, Hansen (1961) comprobó que la leche iniciaba la cura del kwashiorkor sin dificultad; sin embargo una mezcla de dos elementos—66 por ciento de harina de maíz y 33 por ciento de harina de caupíes—, no inició la cura en los tres casos tratados con ella. Una mezcla de tres elementos formada en partes iguales por harina de maíz, germen de maíz y caupíes (*Vigna sinensis*) logró una recuperación satisfactoria en el caso que se utilizó. Harían falta 238 g de la mezcla de tres componentes en seco y 267 g de la de dos componentes para suministrar los aminoácidos esenciales contenidos en 100 g de leche desnatada. Como las fórmulas vegetales también requieren una dilución relativamente mayor, resulta difícil suministrarlas en cantidades suficientes para atender las necesidades de proteínas.

Según Scrimshaw *et al.* (1961), la gran cantidad de cereales y legumbres requerida para suministrar las proteínas necesarias era un motivo capital de la falta de éxito de las curas del kwashiorkor intentadas con mezclas de maíz

y frijoles. Hansen *et al.* (1960) afirmaron que la diferencia de valor biológico de las proteínas ensayadas se reflejaba con claridad en la retención de nitrógeno, que era, por término medio, de 13 por ciento a 14 por ciento en la leche, 8,8 por ciento en la mezcla de dos elementos y sólo 5,7 por ciento en la de tres elementos. Llegaron a la conclusión de que las mezclas de dos y de tres elementos eran adecuadas para evitar el kwashiorkor después de la recuperación inicial de la enfermedad, pero únicamente la mezcla de tres elementos tenía proteínas en concentración y de calidad suficientemente altas para poder utilizarse satisfactoriamente en un tratamiento de dicha enfermedad.

Cabe señalar que la mezcla de dos elementos, 66 por ciento de harina de maíz y 33 por ciento de harina de caupíes, no es la mejor combinación de esas dos fuentes de proteínas. Según Bressani y Scrimshaw (1961), en las mezclas más adecuadas de ambos alimentos, el caupí suministra del 50 al 75 por ciento de las proteínas y el maíz entre el 50 y el 25 por ciento.

En otros estudios de Hansen *et al.* (1960) y Brock (1961), se midió, mediante el balance de nitrógeno, el valor nutritivo del maíz solo y del maíz suplementado con lisina y triptofano, con harina de guisantes y harina de pescado, y con harina de guisantes y leche. La retención de nitrógeno aumentó considerablemente con cada modalidad de suplemento, pero con ingestas de proteínas inferiores a 2,5g por kg de peso corporal por día era notablemente menor con el suplemento de lisina y triptofano o el de harina de guisantes que con una dieta a base de leche. Estas diferencias desaparecieron con una ingesta mayor de proteínas. La mezcla de maíz y guisantes suplementada con un 12 por ciento de leche o un 10 por ciento de harina de pescado produjo retenciones de nitrógeno comparables a las de una dieta de leche a todos los niveles de ingesta de proteínas. La variabilidad de esos resultados obtenidos con proteínas de frijoles y otras legumbres puede deberse al tipo de legumbre empleado, a deficiencias de aminoácidos o a algún otro factor desconocido. Deberían investigarse más a fondo estos resultados, pues las semillas de leguminosas ofrecen grandes posibilidades de contribuir a resolver los problemas de nutrición del mundo.

Baptist y De Mel (1955) obtuvieron una respuesta muy satisfactoria con 25 niños ceilandeses, de uno a seis años de edad, a los que suministraron una

dicta mixta de tres cereales y cuatro legumbres, suplementada con leche desnatada. Por su parte, Navarrete y Bressani (1981) estudiaron el balance de nitrógeno en adultos y determinaron que una dieta a base de frijoles producía un equilibrio de nitrógeno con una ingesta de 114 mg N por kg por día; sin embargo, una mezcla de maíz y frijoles en proporción de 87:13 producía un equilibrio de nitrógeno con una ingesta de 98 mg de N por kg por día.

Todos estos estudios indican que aunque se mejore el valor nutritivo de las proteínas del maíz añadiendo frijoles, su calidad sigue siendo insuficiente para alimentar a niños de corta edad y a niños en edad preescolar, como se demostró cuando también se investigaron suplementos de proteínas de alta calidad a las dietas a base de maíz y frijoles. El volumen, que limita la ingesta posible, y la calidad nutritiva son dos factores de importancia en las mezclas o dietas a base de maíz y frijoles.

NUTRIENTES LIMITANTES DE LA DIETA A BASE DE MAÍZ Y FRIJOLES

Aminoácidos

Se ha demostrado que si se añade 0,3 por ciento de L-lisina HCl y 0,10 por ciento de DL-triptofano a una dieta de 90 por ciento de maíz y 10 por ciento de frijoles, se obtiene un aumento considerable del peso y una mejora de la calidad proteínica, lo cual no sucede al añadir también metionina (véase el Cuadro 42). La importancia de la calidad de las proteínas en las dietas basadas en maíz y frijoles se observó al añadir metionina a las mezclas de estos dos alimentos. Los resultados confirmaron la limitación de este aminoácido en los frijoles, pues se observó una respuesta al incluir más frijoles en la dieta. De igual modo, esas dietas a base de maíz y frijoles con metionina hicieron que los sujetos consumiesen mayores cantidades de alimentos o de energía, lo que demostró el valor de la calidad de las proteínas para estimular la ingesta alimentaria (Contreras, Elías y Bressani, 1980; 1981). Los resultados obtenidos demostraron también que, incluso con la combinación más adecuada —es decir, una proporción de 7:3 de maíz: frijoles—, la dieta sigue siendo de calidad insuficiente para alimentar a niños de corta edad, y lo es aún más si la proporción de frijoles es inferior.

CUADRO 42

Efecto de la adición de lisina y triptofano al maíz o de metionina a los frijoles sobre el valor nutritivo de una dieta a base de maíz (72,4%) y frijoles (8,1%) [ensayo con ratas jóvenes]

Tratamiento	Aumento medio de peso (g/28 días)	PER
Maíz Frijoles	69	2,11
Maíz + lisina+ triptofano Frijoles	103	2,64
Maíz Frijoles + metionina	66	1,93
Maíz + lisina + triptofano Frijoles + metionina	108	2,69

Nota: Peso promedio inicial: 44g. Aminoácidos empleados: 0,3 por ciento L-lisina HCl; 0,1 por ciento DL-triptofano; 0,3 por ciento DL-metionina.
Fuente: Gómez-Brenes, Elías y Bressani, 1972.

Vitaminas y minerales

Una dieta de maíz y frijoles en proporción de 7:3 responde a la adición, por sí sola, de una mezcla completa de vitamina B y elementos liposolubles y más aún a un suplemento completo de minerales, pero no a las calorías ni a la lisina y el triptofano. Los mejores resultados a base de combinaciones dobles son los que se han obtenido añadiendo minerales y aminoácidos, minerales y vitaminas, minerales y calorías, vitaminas y aminoácidos y vitaminas y calorías. La adición de calorías y aminoácidos no mejora significativamente ni el aumento de peso de los sujetos ni el PER de la dieta. En cuanto a las combinaciones triples, se necesita una ingesta suficiente de vitaminas y minerales para obtener un efecto de los aminoácidos, dado que los animales alimentados a base de dietas enriquecidas con aminoácidos experimentan probablemente una deficiencia de vitaminas y minerales. Aunque esto sea evidente, lo normal es que en la práctica no se tenga en cuenta.

Se observó que los animales a los que se suministraba una dieta enriquecida con aminoácidos desarrollaban carencias de vitaminas y minerales, y muchos de ellos morían, hecho que se atribuyó a una disminución de esos

nutrientes ocasionada por el efecto catalítico de la mejora de la calidad proteínica sobre el potencial del animal para responder a este estímulo.

El suministro de más calorías en la dieta ocasionó una ligera disminución de la calidad de ésta, lo que indica que la adición de calorías redujo la ingesta de proteínas, lo cual a su vez disminuyó su calidad al impulsar una deficiencia de aminoácidos esenciales en la mezcla de maíz y frijoles. Contreras, Elías y Bressani (1980, 1981) obtuvieron resultados similares utilizando crías de ratas en fase de crecimiento y cerdos alimentados con una mezcla de maíz y frijoles en una proporción de 87:13 y de 70:30. Estos autores confirmaron los resultados obtenidos anteriormente e indicaron que una de las principales limitaciones de las dietas basadas en maíz y frijoles era su volumen, que no permitía ingestas mayores. En el Cuadro 43 se resumen los resultados de algunas de estas dietas suplementadas suministradas a ratas.

Para saber si un aumento del contenido de proteínas de la dieta debido al aumento de las proteínas del maíz y los frijoles incrementaría el rendimiento de los animales, se han llevado a cabo diversos experimentos, los cuales han mostrado que la utilización en la dieta a base de maíz y frijoles de un maíz que tenga 13 por ciento de proteínas, en lugar de sólo 8,3 por ciento, produce un cierto aumento de peso y un mayor aprovechamiento de las proteínas, pese a la disminución de éstas que revelan las cifras del PER y del valor relativo del nitrógeno. Era un resultado que cabía esperar, pues el grado de aprovechamiento de las proteínas depende de su cantidad y calidad. Cuando se suplementaron las dos muestras de maíz (con contenido bajo y elevado de proteínas) de esa dieta de maíz y frijoles con lisina y triptofano, mejoró el aumento de peso y el contenido de proteínas utilizables, que resultaron superiores a los de la dieta a base de maíz con elevado contenido de proteínas. También se produjeron aumentos de peso y de proteínas aprovechables en comparación con la dieta basal al aumentar los frijoles de la dieta del 10 por ciento al 20 por ciento, pero fueron menores que con las respectivas dietas suplementadas con aminoácidos. Se interpretaron estos datos en el sentido de que las dietas de maíz y frijoles en una proporción de 90:10 resultan limitantes, en primer lugar, por lo que se refiere a la calidad proteínica y, en menor medida, en lo tocante a la cantidad de proteínas

CUADRO 43

Valor nutritivo de una dieta de maíz y frijoles (90:10) suplementada con vitaminas, minerales, calorías y aminoácidos

Suplemento	Aumento medio de peso (g/28 días)	PER
Ninguno (dieta basal)	26 ± 2,3	1,11 ± 0,07
+ Mezcla de vitaminas	49 ± 4,0	1,55 ± 0,06
+ Mezcla de minerales	65 ± 4,3	1,94 ± 0,06
+ Calorías (5% de aceite)	23 ± 1,2	0,95 ± 0,05
+ Aminoácidos*	26 ± 2,5	1,13 ± 0,08

*Lisina (0,3 por ciento); DL-triptofano (0,10 por ciento).
Fuente: Bressani, 1990.

(Gómez-Brenes, Elías y Bressani, 1972; Elías y Bressani, 1971; Bressani, Elías y De España, 1981). Dicha interpretación coincide con la de Arroyave (1974), quien señaló que para obtener una retención adecuada de nitrógeno de una dieta de maíz y frijoles similar a la consistente en 1,27 g de proteínas lácteas por kg de peso corporal por día, en niños de uno a dos años de edad, eran necesarios 1,7 g de proteína por kg por día. Estos resultados muestran que las proteínas del maíz común de la dieta mejoran si se le añaden lisina y triptofano.

MEJORA DE LA DIETA A BASE DE MAIZ Y LEGUMBRES

Suplementos de origen animal

Diversos experimentos con animales han demostrado que la metionina es el aminoácido limitante de las dietas que contienen más de 30 partes de frijoles, en tanto que en las que contienen más de 70 partes de maíz el factor limitante es la lisina. La dieta que proporciona la calidad más elevada presenta deficiencias de ambos aminoácidos (Bressani, Valiente y Tejada, 1962). Al mismo tiempo, esas dietas tienen un bajo contenido total de proteínas. Así pues, para mejorar la calidad de las mezclas de maíz y frijoles, es menester añadir fuentes de proteínas ricas en ambos aminoácidos. De los estudios realizados con animales alimentados con dietas a base de maíz y frijoles y diversas fuentes de proteínas animales, como pollo o carne de bovino, se

desprende que si se añade de 20 a 30 por ciento de proteínas de origen animal mejora considerablemente su valor nutritivo (Bressani, 1987). En experimentos llevados a cabo por otros investigadores, se alimentó *ad libitum* a animales con 1, 2, 3 y 4 g de leche, en calidad de suplemento diario de una dieta de maíz y frijoles. Los resultados demostraron que bastaban aproximadamente de 1 a 2 g por día añadidos a una ingesta de dieta basal de 15 g por día para aumentar la calidad nutritiva de la dieta, considerada desde la perspectiva de la calidad de las proteínas. En dichos estudios se constató que un 12 por ciento de leche era el mínimo necesario para producir una mejora relativamente elevada de la calidad de la dieta de maíz y frijoles. Además, el efecto de ese suplemento era más intenso si se adicionaba diariamente. Murillo, Cabezas y Bressani (1974), quienes experimentaron con cachorros de perro, hallaron que un 20 por ciento de leche era el complemento mínimo necesario para obtener el balance de nitrógeno más elevado con una dieta a base de maíz y frijoles. No se obtuvo ese resultado con la dieta base de maíz y frijoles suplementada con lisina, metionina y triptofano tal como se encuentran en las proteínas lácteas. Torún y Viteri (1981) y Torún *et al.* (1984) demostraron, mediante estudios de metabolismo realizados con niños alimentados con una dieta de frijoles y maíz en una proporción ponderal de 15:85 con un 18 por ciento de proteínas animales (leche), que se obtenían respuestas biológicas positivas y constantes. Dichos autores llegaron a la conclusión de que las ingestas de proteínas a partir de la dieta empleada en el estudio eran adecuadas si las ingestas de energía correspondían a las estimaciones de las necesidades de energía.

El MPC

La sustitución del maíz común por el MPC es otra opción que puede mejorar la calidad de las dietas a base de maíz y frijoles. Los resultados obtenidos alimentando animales con mezclas de MPC y frijoles mostraron que, al igual que con el maíz común, el suplemento óptimo se alcanza con una dieta cuya proporción de proteínas sea aproximadamente 50:50, equivalente a 70:30 de maíz/frijoles en peso (Bressani y Elías, 1969). Sin embargo, hay que señalar dos diferencias: la primera es que tanto el aumento de peso de los animales como la calidad proteínica fueron mayores en las mezclas de MPC y frijoles

que en las de maíz común y frijoles. La segunda, quizá más importante aún, es que el aumento de peso y la calidad proteínica de las mezclas que tenían más de 70 partes de maíz no se diferenciaban de los valores que arrojaba la mezcla mejor, esto es, una dieta de 70:30. De igual modo, la ingesta de la dieta durante un período experimental de 28 días aumentó de 224 a 388 g por animal en el punto máximo, y permaneció constante en todas las demás dietas con niveles más elevados de MPC en la mezcla.

En otra serie de estudios, se evaluó la calidad proteínica del MPC como componente de una dieta a base de maíz y frijoles, con 82,8 por ciento de maíz y 10,5 por ciento de frijoles cocidos, en perros adultos y cachorros alimentados a dos niveles de proteínas (Bressani y Elías, 1972; Murillo, Cabezas y Bressani, 1974). El efecto del MPC fue comparado con dietas similares compuestas de maíz común y frijoles, y maíz común suplementado con lisina y triptofano y frijoles. Los datos correspondientes al balance de nitrógeno mostraron que la retención de éste de los cachorros o perros adultos alimentados con dietas a base de MPC y frijoles eran tan o más elevada que la de los que habían sido alimentados con maíz común suplementado con lisina y triptofano, y en ambos casos muchísimo más elevada que la de los que habían sido alimentados sólo con maíz y frijoles.

Estos estudios, así como los efectuados con lechones, indican también que las dietas de maíz y frijoles son voluminosas, lo que limita la cantidad que se puede ingerir para atender plenamente las necesidades nutritivas (Contreras, Elías y Bressani, 1980, 1981).

Mezclas de alimentos de elevada calidad

En muchos países en desarrollo se han desplegado por largo tiempo grandes esfuerzos para idear mezclas alimenticias de calidad elevada que suministren los nutrientes, sobre todo proteínas, que se obtienen de los productos alimenticios de origen animal. La mayoría de esos alimentos tienen un contenido relativamente elevado de proteínas, con una buena composición de aminoácidos que en alguna medida puede corregir la deficiencia de éstos y de otros elementos nutritivos de las dietas de maíz y frijoles, a condición de que se consuman en cantidad suficiente. Los estudios efectuados han mostrado que este efecto de complemento se produce realmente. Se ali-

mentó a crías de animales con una dieta basal de cerca de 85 por ciento de maíz tratado con cal y 15 por ciento de frijoles negros cocidos. Se suplementó dicha dieta debidamente con minerales, vitaminas y energía. Se alimentó a grupos de animales diariamente con 1, 2, 3 y 4 g de alimentos con elevado contenido de proteínas, a base de maíz, soja y leche desnatada. Los resultados obtenidos demostraban que esos niveles, sobre todo el más elevado, suplementaban con eficacia la dieta basal, como se podía deducir del aumento de peso, del aprovechamiento de las proteínas y de los parámetros bioquímicos (De Souza, Elías y Bressani, 1970).

Todas estas dietas –suplementadas con alimentos de origen animal o con alimentos de calidad elevada– resultan eficaces porque suministran los nutrientes de que aún carecen las dietas basadas únicamente en maíz y frijoles. Así pues, cualquier alimento de origen animal o vegetal, por ejemplo la soja y las hortalizas de hoja, también mejorará la calidad de esas dietas.

Hortalizas

Del estudio de las dietas a base de maíz y frijoles se desprende que presentan carencias no sólo en lo que se refiere a la calidad proteínica sino también con respecto a otros elementos nutritivos. Se ha descrito ya las consecuencias que tiene la adición de vitaminas y minerales, juntos o por separado, a dietas de ese tipo. Se han realizado otros experimentos en los que se ha suplementado la dieta basal de maíz y frijoles con pequeñas cantidades de hortalizas de hoja, como amaranto, espinacas y chipilín (crotalaria). Estas hortalizas no sólo suministran los aminoácidos esenciales y las proteínas, sino también vitaminas y carotenos que satisfacen en cierta medida las necesidades de vitamina A del animal.

Se han estudiado diversos vegetales para complementar la dieta de maíz y frijoles y en el Cuadro 44 se exponen algunos resultados. Se experimentaron dos conjuntos de dietas, uno con la adición de vitaminas y otro sin ellas. Se añadió un 5 por ciento del peso en seco. Todas las hortalizas, fuera cual fuera el conjunto de dietas estudiado, mejoraron el peso y aumentaron la ingesta de la dieta. También el aprovechamiento de las proteínas en las dietas a base de maíz y frijoles más hortalizas fue superior a la de testigo, y el valor

CUADRO 44

Efectos de diversas hortalizas en la mejora del valor nutritivo de las dietas a base de maíz común y frijoles (proporción 87:13)

Hortaliza añadida	Sin vitaminas					Con vitaminas				
	Aumento medio de peso (g/28 días)	Ingesta de alimentos (g)	PER	Valor relativo del N	Proteínas aprove- chables (%)	Aumento medio de peso (g/28 días)	Ingesta de alimentos (g)	PER	Valor relativo del N	Proteínas aprove- chables (%)
Papas	42	274	1,49	59,6	5,6	68	357	2,08	83,2	7,6
Zanahorias	50	287	1,83	73,2	6,9	65	349	2,04	81,6	7,4
Guisantes	52	311	1,66	66,4	6,7	80	370	2,28	91,2	8,7
Frijoles verdes	55	313	1,75	70,0	7,1	79	378	2,15	86,0	8,3
Espinacas	56	282	1,82	72,8	7,9	103	417	2,36	94,4	9,9
Amaranto	67	327	1,96	78,4	8,2	100	420	2,32	92,8	9,5
Crotalaria	63	313	1,92	76,8	8,1	92	329	2,28	91,2	9,7
Ninguna	37	268	1,48	50,2	5,4	58	337	1,84	73,6	6,8

de aprovechamiento máximo se obtuvo con las hortalizas de hoja. Esto muestra claramente que se puede mejorar el valor nutritivo de las dietas de maíz y frijoles en una proporción de 87:13 suministrando vitaminas, pequeñas cantidades de proteínas y aminoácidos esenciales.

Bibliografía

- Abbas, H.K., Mirocha, J.K., Rosiles, R. y Carvajal, M. 1988. Decomposition of zearalenone and deoxynivalenol in the process of making tortillas from corn. *Cereal Chem.*, 65:15-19.
- Abramson, D., Sinka, R.N. y Mills, J.T. 1980. Mycotoxin and odor formation in moist cereal grain during granary storage. *Cereal Chem.*, 57: 346-351.
- Acevedo, E. y Bressani, R. 1990. Contenido de fibra dietética de alimentos centroamericanos. Guatemala. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 40: 439-451.
- Adeniji, A.O. y Potter, N.N. 1978. Properties of ogi powders made from normal, fortified and opaque-2 corn. *J. Food Sci.*, 43: 1571-1574.
- Aguirre, F., Bressani, R. y Scrimshaw, N.S. 1953. The nutritive value of Central American corns. III. Tryptophan, niacin, thiamine and riboflavin content of twenty-three varieties in Guatemala. *Food Res.*, 18: 273-279.
- Akingbala, J.O., Onochie, E.V., Adeyemi, I.A. y Oguntimein, G.B. 1987. Steeping of whole and dry milled maize kernels in ogi preparation. *J. Food Proc. Preserv.*, 11: 1-11.
- Akingbala, J.O., Rooney, L.W. y Faubion, J.M. 1981. A laboratory procedure for the preparation of ogi, a Nigerian fermented food. *J. Food Sci.*, 46: 1523-1526.
- Akinrele, I.A. 1970. Fermentation studies on maize during the preparation of a traditional African starch-cake food. *J. Sci. Food Agric.*, 21: 619-625.
- Akinrele, I.A. y Bassir, O. 1967. The nutritive value of ogi, a Nigerian infant food. *J. Trop. Med. Hyg.*, 70: 279-280.
- Amorin, P.J. de. 1972. Opaque-2 maize for feeding infants. *Pediatr. Prat.* 43: 235-244.
- Arroyave, G. 1974. Amino acid requirements by age and sex. En P.L. White y D.C. Fletcher, eds. *Nutrients in processed food. Proteins*, p. 15-28. Acton, EE.UU., Publishing Sciences Group Inc.
- Arroyave, G., Wilson, D., Béhar, M. y Viteri, F. 1961. The development of INCAP vegetable mixtures II. Biochemical testing. En *Progress in meeting*

- protein needs of infants and preschool children.* Pub. NRC 843, p. 49-55. Washington, D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Counc.
- Asp, N.G., Johansson, C.G., Hallmer, H. y Siljestrom, M.** 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. *J. Agric. Food Chem.*, 31: 476-482.
- Banigo, E.O.I. y Muller, H.G.** 1972. Carboxylic acid patterns in ogi fermentation. *J. Sci. Food Agric.*, 23: 101-111.
- Banigo, E.O.I., de Man, J.M. y Duitschaever, C.L.** 1974. Utilization of high-lysine corn for the manufacture of ogi using a new, improved processing system. *Cereal Chem.*, 51: 559-572.
- Barber, S.A.** 1979. Corn residue management and soil organic matter. *Agron. J.*, 71: 625-627.
- Baptist, N.G. y de Mel, B.V.** 1955. Growth and amino acid intakes of children on a cereal-legume vegetable diet. *Br. J. Nutr.*, 9: 156-170.
- Bazua, C.D., Guerra, R. y Sterner, H.** 1979. Extruded corn flour as an alternative to lime-treated corn flour for tortilla preparation. *J. Food Sci.*, 44: 940-941.
- Bedolla, S. y Rooney, L.W.** 1982. Cooking maize for masa production. *Cereal Foods World*, 27: 219-221.
- Bedolla, S. y Rooney, L.W.** 1984. Characteristics of US and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparations. *Cereal Foods World*, 29: 732-735.
- Bedolla, S., De Palacios, M.G., Rooney, L.W., Ciehl, K.C. y Khan, M.N.** 1983. Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. *Cereal Chem.*, 60: 263-268.
- Benton, D.A., Harper, A.E. y Elvehjem, C.A.** 1955. Effect of isoleucine supplementation on the growth of rats fed zein or corn diets. *Arch. Biochem. Biophys.*, 57: 13-19.
- Benton, D.A., Harper, A.E., Spivey, H.E. y Elvehjem, C.A.** 1956. Leucine, isoleucine and valine relationships in the rat. *Arch. Biochem. Biophys.*, 60: 147-155.
- Boyer, C.D. y Shannon, J.C.** 1983. The use of endosperm genes for sweet corn improvement. *En J. Janick, ed. Plant breeding reviews*, Vol. 1, p. 139-161. Westport, Conn., EE.UU., AVI Publishing Co.
- Boyer, C.D. y Shannon, J.C.** 1987. Carbohydrates of the kernel. *En S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. Corn: chemistry and technology*, p. 253-272. St Paul, Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.

- Braham, J.E. y Bressani, R.** 1966. Utilization of calcium from home treated maize. *Nutr. Bromatol. Toxicol.*, 5: 14-19.
- Braham, J.E., Bressani, R. y Guzmán, M.A.** 1966. Effect of lysine and tryptophan supplementation on nicotinic acid metabolism in pigs given raw or lime-treated corn diets. *Metabolism*, 15: 548-556.
- Braham, J.E., Villarreal, A. y Bressani, R.** 1962. Effect of lime treatment of corn on the availability of niacin for cats. *J. Nutr.*, 76: 183-186.
- Bressani, R.** 1962. Effect of amino acid imbalance on nitrogen retention. I. Effect of a relative deficiency of tryptophan in dogs. *J. Nutr.*, 78: 365-370.
- Bressani, R.** 1963. Effect of amino acid imbalance on nitrogen retention. II. Interrelationships between methionine, valine, isoleucine and threonine as supplements to corn proteins for dogs. *J. Nutr.*, 79: 389-394.
- Bressani, R.** 1971. Amino acid supplementation of cereal grain flours tested in children. En N.S. Schrimshaw y A.M. Altschul, eds. *Amino acid fortification of protein foods*, p. 184-204. Cambridge, Mass., EE.UU., MIT Press.
- Bressani, R.** 1972. La importancia del maíz en la nutrición humana, en América Latina y otros países. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béchar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 5-30. Guatemala, INCAP.
- Bressani, R.** 1983. *World needs for improved nutrition and the role of vegetables and legumes*. Asian Vegetable Research and Development Center, 10th Anniversary Monograph Series. AVRDC Pub. 83-185. Shanhua, Taiwan, AVRDC.
- Bressani, R.** 1987. The incorporation of nutritional goals in agricultural research in developing countries. *Benson Inst. Rev.*, 10: 18-28.
- Bressani, R.** 1988. Protein complementation of foods. En E. Karmas y R.S. Harris, eds. *Nutritional evaluation of food processing*, 3^o ed., p. 627-657. Nueva York, Van Nostrand Reinhold Company.
- Bressani, R.** 1990. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. *Food Rev. Int.*, 6: 225-264.
- Bressani, R. y De Villarreal, E.M.** 1963. Nitrogen balance of dogs fed lime-treated corn supplemented with proteins and amino acids. *J. Food Sci.*, 28: 611-615.
- Bressani, R. y Elías, L.G.** 1969. Studies on the use of opaque-2 corn in vegetable protein-rich foods. *J. Agric. Food Chem.*, 17: 659-662.
- Bressani, R. y Elías, L.G.** 1972. La calidad proteínica del maíz opaco-2 como ingrediente de dietas rurales de Guatemala. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 22: 577-594.

- Bressani, R. y Elías, L.G. 1974. Legume foods. En A.M. Altschul, ed. *New protein foods*, Vol. 1A, p. 231-297. Nueva York, Academic Press Inc.
- Bressani, R. y Elías, L.G. 1981. Estudios nutricionales sobre dietas. Valor proteínico de mezclas de cereales. *INCAP Informe Anual 1980*, p. 10-11. Managua, Nicaragua, INCAP.
- Bressani, R. y Marengo, E. 1963. Corn flour supplementation: the enrichment of lime-treated corn flour with proteins, lysine and tryptophan and vitamins. *J. Agric. Food Chem.*, 11: 517-522.
- Bressani, R. y Mertz, E.T. 1958. Studies on corn protein. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties. *Cereal Chem.*, 35: 227-235.
- Bressani, R. y Scrimshaw, N.S. 1958. Effect of lime treatment on in-vitro availability of essential amino acids and solubility of protein fractions in corn. *J. Agric. Food Chem.*, 6: 774-778.
- Bressani, R. y Scrimshaw, N.S. 1961. The development of INCAP vegetable mixtures. 1. Basic animal studies. En *Progress in meeting protein needs of infants and preschool children*. Pub. NRC 843, p. 35-48. Washington, D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Council.
- Bressani, R., Alvarado, J. y Viteri, F. 1969. Evaluación en niños de la calidad de la proteína del maíz opaco-2. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 19: 129-140.
- Bressani, R., Arroyave, G. y Scrimshaw, N.S. 1953. The nutritive value of Central American corns. I. Nitrogen, ether extract, crude fiber and minerals of twenty-four varieties in Guatemala. *Food Res.*, 18: 261-267.
- Bressani, R., Breuner, M. y Ortiz, M.A. 1989. Contenido de fibra ácido- y neutro-detergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 39: 382-391.
- Bressani, R., Castillo, S.V. y Guzmán, M.A. 1962. The nutritional evaluation of processed whole corn flour. *J. Agric. Food Chem.*, 10: 308-312.
- Bressani, R., Elías, L.G. y Braham, J.E. 1968. Suplementación con aminoácidos del maíz y de la tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 18: 123-134.
- Bressani, R., Elías, L.G. y Braham, J.E. 1978. Improvement of the protein quality of corn with soybean protein. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 105: 29-65.
- Bressani, R., Elías, L.G. y De España, M.E. 1981. Posibles relaciones entre medidas físicas, químicas y nutricionales en frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Arch. Latinoam. Nutr.*, 31: 550-570.

- Bressani, R., Gómez-Brenes, R. y Scrimshaw, N.S.** 1961. Effect of processing on distribution and in vitro availability of niacin of corn (*Zea mays*). *Food Technol.*, 15: 450-454.
- Bressani, R., Murillo, B. y Elías, L.G.** 1974. Whole soybeans as a means of increasing protein and calories in maize-based diets. *J. Food Sci.*, 39: 577-580.
- Bressani, R., Paz y Paz, R. y Scrimshaw, N.S.** 1958. Chemical changes in corn during preparation of tortillas. *J. Agric. Food Chem.*, 6: 770-774.
- Bressani, R., Valiente, A.T. y Tejada, C.** 1962. All vegetable protein mixtures for human feeding. VI. The value of combinations of lime-treated corn and cooked black beans. *J. Food Sci.*, 27: 394-400.
- Bressani, R., Scrimshaw, N.S., Béhar, M. y Viteri, F.** 1958. Supplementation of cereal proteins with amino acids. II. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at intermediate levels of protein intake on the nitrogen retention of young children. *J. Nutr.*, 66: 501-513.
- Bressani R., Elías, L.G., Santos, M., Navarrete, D. y Scrimshaw, N.S.** 1960. El contenido de nitrógeno y de aminoácidos esenciales de diversas selecciones de maíz. *Arch. Venez. Nutr.*, 10: 85-100.
- Bressani, R., Wilson, D., Chung, M., Béhar, M. y Viteri, F.** 1963. Supplementation of cereal proteins with amino acids. V. Effect of supplementing lime-treated corn with different levels of lysine, tryptophan and isoleucine on the nitrogen retention of young children. *J. Nutr.*, 80: 80-84.
- Bressani, R., Braham, J.E., Elías, L.G. y Rubio, M.** 1979. Further studies on the enrichment of lime-treated corn with whole soybeans. *J. Food Sci.*, 44: 1707-1710.
- Bressani, R., Hernández, E., Colón, A., Wolzak, A. y Gómez-Brenes, R.** 1981. Efecto suplementario de 3 fuentes de proteína de soya sobre diferentes selecciones o productos de maíz. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 31: 52-62.
- Bressani, R., Medrano, J.F., Elías, L.G., Gómez-Brenes, R., González, J.M., Navarrete, D. y Klein, R.E.** 1982. Estudios de control de insectos para la preservación del maíz opaco-2 almacenado y efectos sobre su valor nutritivo. *Turrialba*, 32: 51-58.
- Bressani, R., Benavides, V., Acevedo, E. y Ortiz, M.A.** 1990. Changes in selected nutrient contents and in protein quality of common and quality-protein maize during tortilla preparation. *Cereal Chem.*, 67(6): 515-518.

- Brock, J.F.** 1961. Protein malnutrition, requirements and supplementation. En *Progress in meeting protein needs of infants and preschool children*. Pub. NRC 843, p. 103-118. Washington D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Counc.
- Burge, R.M. y Duensing, W.J.** 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World*, 34: 535-538.
- Camacho, L., Bañados, E. y Fernández, E.** 1989. Enlatado de humitas preparadas de maíz opaco-2 complementado con lupino dulce (*Lupinus albus* var. *Multolupa*), cambios nutricionales y de calidad. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 39(2): 185-199.
- Capparelli, E. y Mata, L.** 1975. Microflora of maize prepared as tortillas. *Appl. Microbiol.*, 29: 802-806.
- Carvajal, M., Rosiles, R., Abbas, H.K. y Moricha, C.J.** 1987. Mycotoxin carryover from grain to tortillas in Mexico. En M.S. Zuber, E.B. Lillehoj y B.L. Renpro, eds. *Aflatoxin in maize, proceedings of the workshop*, p. 318-319. El Batán, México, CIMMYT.
- Chakrabarti, A.G.** 1981. Detoxification of corn. *J. Food Prot.*, 44: 591-592.
- Chávez, A.** 1973. El maíz en la nutrición de México. En *Simposio sobre desarrollo y utilización de maíces de alto valor nutritivo, junio 29-30, 1972, Colegio de Postgraduados, ENA*. p. 9-11. Chapingo, México, SAG.
- Chávez, J.F.** 1972a. Composición del maíz opaco-2 venezolano. Análisis y calidad biológica de la arepa de opaco-2 y de maíz corriente. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 22: 147-160.
- Chávez, J.F.** 1972b. Calidad nutritiva de la proteína de la harina de arepa y su mejoramiento por medio de la fortificación en Venezuela. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 115-125. Guatemala, INCAP.
- Chávez, J.F. y Obregón, G.P.** 1986. Composición y valor nutritivo del maíz dulce Pajimaca y del Pajimaca opaco-2 cultivados en Venezuela. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 36: 312-318.
- Christensen, C.M.** 1967. Some changes in No. 2 corn stored two years at moisture contents of 14.5% and 15.2%, and temperatures of 12°C, 20°C, and 25°C. *Cereal Chem.*, 44: 95-99.
- Christensen, C.M. y Sauer, D.B.** 1982. Microflora. En C.M. Christensen, ed. *Storage of cereal grains and their products*, 2° ed., p. 219-240. St. Paul, Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.

- Christianson, D.D., Wall, J.S., Dimler, R.J. y Booth, A.N. 1968. Nutritionally available niacin in corn. Isolation and biological activity. *J. Agric. Food Chem.*, 16: 100-104.
- Chu, N.T., Pellet, P.L. y Nawar, W.W. 1976. Effect of alkali treatment on the formation of lysinoalanine in corn. *J. Agric. Chem.*, 24: 1084- 1085.
- Clark, H.E., Allen, P.E., Meyers, S.M., Tuckett, S.E. y Yamamura, Y. 1967. Nitrogen balances of adults consuming opaque-2 maize protein. *Am. J. Clin. Nutr.*, 20: 825-833.
- Clark, H.E., Glover, D.V., Betz, J.L. y Bailey, L.B. 1977. Nitrogen retention of young men who consumed isonitrogenous diets containing normal, opaque-2 or sugary-2 opaque-2 corn. *J. Nutr.*, 107: 404-411.
- Contreras, G., Elías, L.G. y Bressani, R. 1980. Limitations of corn (*Zea mays*) and common bean (*Phaseolus vulgaris*) diets as protein and calorie sources. *Plant Foods Human Nutr.*, 30: 145-153.
- Contreras, G., Elías, L.G. y Bressani, R. 1981. Efecto de la suplementación con vitaminas y minerales sobre la utilización de la proteína de mezclas de maíz y frijol. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 31: 808-826.
- Conway, H.F. y Anderson, R.A. 1978. Detoxification of aflatoxin contaminated corn by roasting. *Cereal Chem.*, 55: 115-117.
- Cortez, A. y Wild-Altamirano, C. 1972. Contribución a la tecnología de la harina de maíz. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 90-106. Guatemala, INCAP.
- Cox, L.J., Caicedo, B., Vanos, V., Heck, E., Hofstaelter, S. y Cordier, J.L. 1987. A catalogue of some Ecuadorean fermented beverages, with notes on their microflora. *Mircen J.*, 3: 143-153.
- Cravioto, R.O., Anderson, R.K., Lockhart, E.E., De Miranda, F. de P. y Harris, R.S. 1945. Nutritive value of the Mexican tortilla. *Science*, 102: 91.
- Cravioto, R.O., Cravioto, O.Y., Massieu, G. y Guzmán, G.J. 1955. El "pozol", forma indígena de consumir el maíz en el sureste de México y su aporte de nutrientes a la dieta. *Ciencia (Mex.)*, 15: 27-30.
- Cravioto, R.O., Massieu, G.H., Cravioto, O.Y. y Figueroa, M. 1952. Effect of untreated corn and Mexican tortilla upon the growth of rats on a niacin-tryptophan deficient diet. *J. Nutr.*, 48: 453-459.

- Creech, R.G. 1965. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. *Genetics*, 52: 1175-1186
- Cuevas, R., Figueroa, E. y Racca, E. 1985. The technology for industrial production of precooked corn flours in Venezuela. *Cereal Foods World*, 30: 707-712.
- Cuevas, R., De Padua, M.R., Paredes, G. y Ortega, C. 1985. Precooked corn flour for Venezuelan arepa preparation: characterization of particle size fractions. *J. Food Sci.*, 50: 1668-1671.
- Daniel, V.A., Rajan, P., Sanjee-varayappa, K.V., Srinivasan, K.S. y Swaminathan, M. 1977. Effect of insect infestation on the chemical composition and protein efficiency ratio of the proteins of kaffir corn and green gram. *Indian J. Nutr. Diet.*, 14: 38-42.
- De Arriola, M.C., De Porres, E., De Cabrera, S., De Zepeda, M. y Rolz, C. 1987. Aflatoxin and tortilla preparation in Guatemala. En M.S. Zuber, E.B. Lillehoj y B.L. Renpro, eds. *Aflatoxin in maize, proceedings of the workshop*, p. 298-307. El Batán, México, CIMMYT.
- De Arriola, M.C., De Porres, E., De Cabrera, S., De Zepeda, M. y Rolz, C. 1988. Aflatoxin fate during alkaline cooking of corn for tortilla preparation. *J. Agric. Food Chem.*, 36: 530-533.
- De Buckle, T.S., Pardo, C.A., De Sandoval, A.M. y Silva, G. 1972. Propiedades funcionales de harina de maíz simple y fortificada para la preparación de arepas. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 134-148. Guatemala, INCAP.
- De Campos, M., Crespo-Santos, J. y Olszyna-Marzys, A.E. 1980. Aflatoxin contamination in grains from the Pacific coast in Guatemala and the effect of storage upon contamination. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 24: 789-795.
- De Groot, A.P. y Slump, P. 1969. Effect of severe alkali treatment of proteins on amino acid composition and nutritive value. *J. Nutr.*, 98: 45-46.
- Del Valle, F.R. 1972. Producción industrial, distribución y mercadeo de la harina para tortillas en México. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3. p. 60-86. Guatemala, INCAP.
- Del Valle, F.R. y Pérez-Villaseñor, J. 1974. Enrichment of tortillas with soy proteins by lime cooking of whole raw soybean mixtures. *J. Food Sci.*, 39: 244-247.

- Del Valle, F.R., Montemayor, E. y Bourges, H.** 1976. Industrial fortification of corn tortillas with oilseed flour by lime cooking of whole raw corn/soybean mixtures. *J. Food Sci.*, 41: 349-351.
- Deschamps, A.I.** 1985. Aprovechamiento industrial del maíz en la manufactura de productos alternos a los de panificación originados en el trigo. *Congreso Tecnología de Alimentos*, Viña del Mar, Chile.
- De Souza, N., Elías, L.G. y Bressani, R.** 1970. Estudios en ratas del efecto de una dieta básica del medio rural de Guatemala suplementada con leche de vaca y una mezcla de proteínas. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 20: 293-307.
- Dudley, J.W. y Lambert, R.J.** 1969. Genetic variability after 65 generations of selection in Illinois high oil, low oil, high protein and low protein strains of *Zea mays* L. *Crop Sci.*, 9: 179-181.
- Dudley, J.W., Lambert, R.J. y Alexander, D.E.** 1974. Seventy generations of selections for oil and protein concentration in the maize kernel. En J.W. Dudley, ed. *Seventy generations of selection for oil and protein in maize*, p. 181-211. Madison, Wis., EE.UU., Crop. Sci. Soc. Am.
- Dudley, J.W., Lambert, R.J. y de la Roche, I.A.** 1977. Genetic analysis of crosses among corn strains divergently selected for percent oil and protein. *Crop. Sci.*, 17: 111-117.
- Earll, L., Earll, J.M., Navjokaitis, S., Pyle, S., McFalls, K. y Altschul, A.M.** 1988. Feasibility and metabolic effects of a purified corn fiber food supplement. *J. Am. Diet. Assoc.*, 88: 950-952.
- Eggert, R.G., Brinegar, M.J. y Anderson, C.R.** 1953. The quality of protein of normal and high protein corn for growing swine. *J. Anim. Sci.*, 12: 282-290.
- Elías, L.G. y Bressani, R.** 1971. Improvement of the protein quality of corn-bean diets by the use of fortified corn or opaque-2 corn. In *Third Western Hemisphere Nutrition Congress*, Bal Harbour, Fla., EE.UU..
- FAO.** 1966. *Hojas de balance de alimentos: promedio, 1960-62*. Roma, FAO.
- FAO.** 1984 *Hojas de balance de alimentos: promedio, 1979-81*. Roma, FAO.
- FAO.** 1988. *Anuario FAO de Producción 1987*. Vol. 41. Roma, FAO.
- FAO.** 1989. *Utilización de alimentos tropicales*. Estudios FAO: Alimentación y Nutrición 47/1. Roma, FAO.
- Fennell, D.I., Lillehoj, E.B., Kwolek, W.F., Guthrie, W.D., Sheeley, R., Sparks, A.N., Widstrom, N.W. y Adams, G.L.** 1978. Insect larval activity on develop-

- ing corn ears and subsequent aflatoxin contamination of seed. *Econ. Entomol.*, 71: 624.
- Flores, M., Bressani, R. y Elías, L.G. 1973. Factors and tactics influencing consumer food habits and patterns. En *Potential of field beans and other food legumes in Latin America*, p. 88-114. Cali, Colombia, CIAT.
- Flynn, L.M., Zuber, M.S., Leweke, D.H., Grainger, R.B. y Hogan, A.G. 1954. Relationship between protein content of corn and concentration of amino acids and nicotinic acid. *Cereal Chem.*, 31: 217-228.
- Frenk, S. 1961. Biological value of some new sources of protein in Mexican malnourished children. En *Progress in meeting protein needs of infants and preschool children*. Pub. NRC 843, p. 21-38. Washington, D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Council.
- Frey, K.J. 1951. The interrelationships of proteins and amino acids in corn. *Cereal Chem.*, 28: 123-132.
- Frey, K.J., Brimhall, B. y Sprague, G.F. 1949. The effects of selection upon protein quality in the corn kernel. *Agron. J.*, 41: 399-403.
- Galinat, W.C. 1977. The origin of corn. En G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, p. 1-47. Madison, Wis., EE.UU., Am. Soc. Agron.
- García, B. y Urrutia, J.J. 1978. Descripciones de las condiciones socioeconómicas de la comunidad de Santa María Cauqué. En *Memorias. Conferencia Interacción entre Producción Agrícola, Tecnología de Alimentos y Nutrición*. p. 116-132. Guatemala, INCAP.
- Gómez, F., Ramos-Galván, R., Cravioto, J., Frenk, S., De la Peña, C., Moreno, M.E. y Villa, M.E. 1957. Protein metabolism in chronic severe malnutrition (kwashiorkor). Absorption and retention of nitrogen from a typical poor Mexican diet. *Br. J. Nutr.*, 11: 229-233.
- Gómez, M.H., McDonough, C.M., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Sci.*, 54: 330-336.
- Gómez-Brenes, R.A., Elías, L.G. y Bressani, R. 1968. Efecto del proceso de maduración del maíz sobre su valor nutritivo. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 18: 65-79.
- Gómez-Brenes, R.A., Elías, L.G. y Bressani, R. 1972. Mejoramiento de la calidad proteínica de dietas de bajo valor nutritivo a través del uso de maíz fortificado

- y del opaco-2. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 261-277. Guatemala, INCAP.
- Gopalan, C. y Rao, K.S.J. 1975. Pellagra and amino acid imbalance. *Vitam. Horm.*, 33: 505-528.
- Graham, G.G., Placko, R.P. y MacLean, W.C. 1980. Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children II. Plasma-free amino acids. *J. Nutr.*, 110: 1070-1075.
- Graham, G.G., Glover, D.V., De Romana, G.L., Morales, E. y MacLean, W.C. 1980. Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children. I. Digestibility and utilization. *J. Nutr.*, 110: 1061-1069.
- Graham, G.G., Lembcke, J., Lancho, E. y Morales, E. 1989. Quality protein maize: digestibility and utilization by recovering malnourished infants. *Pediatrics*, 83: 416-421.
- Hansen, J.D.L. 1961. The effects of various forms of supplementation on the nutritive value of maize for children. En *Progress in meeting protein needs of infants and preschool children*. Pub. NRC 843, p. 89-102. Washington, D.C., Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Council.
- Hansen, J.D.L., Schendel, H.E., Wilkins, A. y Brock, J.F. 1960. Nitrogen metabolism in children with kwashiorkor receiving milk and vegetable diets. *Pediatrics*, 25: 258-282.
- Harper, A.E., Benton, D.A. y Elvehjem, C.A. 1955. L-leucine, an isoleucine antagonist in the rat. *Arch. Biochem. Biophys.*, 57: 1-12.
- Hazell, T. y Johnson, I.T. 1989. Influence of food processing on iron availability in vitro from extruded maize-based snack foods. *J. Sci. Food Agric.*, 46: 365-374.
- Herum, F.L. 1987. Harvesting and postharvest management. En S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. *Corn, chemistry and technology*, p. 83-123. St Paul, Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- Hesseltine, C.W. 1979. Some important fermented foods of mid-Asia, the Middle East and Africa. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 56: 367-374.
- Hickey, C.S., Stephens, D.O. y Flowers, R.S. 1982. Preservation of flour tortillas. Artículo N° 221, presentado a la 42° reunión anual, Inst. Food Technol., Las Vegas, EE.UU.

- Hogan, A.G., Gillespie, G.T., Kocturk, O., O'Dell, B.L. y Flynn, L.M. 1955. The percentage of protein in corn and its nutritional properties. *J. Nutr.*, 57: 225-239.
- Howe, E.E., Janson, G.R. y Gilfillan, E.W. 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. *Am. J. Clin. Nutr.*, 16: 315-320.
- Illescas, R. 1943. La teoría química de la formación del nixtamal. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 4: 129.
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). 1969. *Evaluación nutricional de la población de Centro América y Panamá*. Guatemala, INCAP; Oficina de investigaciones internacionales de los institutos nacionales de salud; Ministerio de salubridad pública. 144 pp.
- Ingle, J., Bietz, D. y Hageman, R.H. 1965. Changes in composition during development and maturation of maize seed. *Plant Physiol.*, 40: 835-839.
- Instituto de Investigaciones Tecnológicas. 1971. Harinas precocidas de cereales. Primera fase. Informe preparado para la OEA (Abril), p. 27-39. Bogotá, Colombia, IIT.
- Islam, M.N., Lirio, M.E. y Del Valle, F.R. 1984. Mold inhibition in tortilla by dimethyl fumarate. *J. Food Proc. Preserv.*, 8: 41-45.
- Jackson, D.S., Rooney, L.W., Kunze, O.R. y Waniska, R.D. 1988. Alkaline processing. Properties of stress-cracked and broken corn (*Zea mays*). *Cereal Chem.*, 65: 133-137.
- Jellum, M.D. y Marion, J.E. 1966. Factors affecting oil content and oil composition of corn (*Zea mays*) grain. *Crop. Sci.*, 6: 41-42.
- Johnson, B.A., Rooney, L.W. y Khan, M.N. 1980. Tortilla-making characteristics of micronized sorghum and corn flours. *J. Food Sci.*, 45: 671-674.
- Khan, M.N., Desrosiers, M.C., Rooney, L.W., Morgan, R.G. y Sweat, V.E. 1982. Corn tortillas: evaluation of corn cooking procedures. *Cereal Chem.*, 59: 279-284.
- Khan, N.H. y Bressani, R. 1987. Preparation and nutritional quality of high protein food extracts from immature corn, whole soybean and dry whole milk. *Plant Food Human Nutr.*, 37: 141-149.
- Kies, C., Williams, E. y Fox, H.M. 1965. Determination of first limiting nitrogenous factor in corn protein for nitrogen retention in human adults. *J. Nutr.*, 86: 350-356.

- Krause, V.M.** 1988. *Rural-urban variations in limed maize consumption and the mineral content of tortilla in Guatemala*. Center for Studies of Sensory Impairment, Aging, and Metabolism, Guatemala; School of Dietetics and Human Nutrition, McGill University, Montreal, Canadá.
- Landry, J. y Moureaux, T.** 1970. Hétérogénéité des glutélines du grain de maïs: Extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions isolées. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 52: 1021-1037.
- Landry, J. y Moureaux, T.** 1980. Distribution and amino acid composition of protein groups located in different histological parts of maize grain. *J. Agric. Food Chem.*, 28: 1186-1191.
- Landry, J. y Moureaux, T.** 1982. Distribution and amino acid composition of protein fractions in opaque-2 maize grain. *Phytochemistry*, 21: 1865-1869.
- Leibovits, Z. y Ruckenstein, C.** 1983. Our experiences in processing maize (corn) germ oil. *J. Am. Chem. Soc.*, 60: 395-399.
- Luna Jaspe, G.H., Parra, J.O.M. y Serrano, S.P.** 1971. Comparación de la retención de nitrógeno en niños alimentados con maíz común, maíz de gen opaco-2 y leche de vaca. I. Resultados con baja ingesta de proteína. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 21: 437-447.
- Lunven, P.** 1968. Le tryptophane dans l'alimentation intertropicale. Tesis doctoral. Universidad de París.
- Maciejewicz-Rys, J. y Hanczakowski, P.** 1989. Improvement of the nutritive value of cereals by leaf protein supplementation. *J. Sci. Food Agric.*, 50: 99-104.
- Mangelsdorf, P.C. y Reeves, R.G.** 1939. The origin of Indian corn and its relatives. *Bulletin No. 574, Texas Agric. Exp. Stn.*, College Station, Tejas, EE.UU.
- Martínez, A.B., Gómez-Brenes, R.A. y Bressani, R.** 1980. Relación del contenido de lisina y triptofano con el de zeína, durante la germinación del grano de maíz y su posible vinculación con el ciclo vegetativo de la planta. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 30: 607-633.
- Martínez, M.L., Elías, L.G., Rodríguez, J.F., Jarquín, R. y Bressani, R.** 1970a. Valor nutritivo del maíz infectado con hongos en pollos y de tortilla de maíz fungoso en ratas. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 20: 217-240.
- Martínez, M.L., Schieber, E., Gómez-Brenes, R. y Bressani, R.** 1970b. Prevalencia de hongos en granos de maíz (*Zea mays*, L.) de Guatemala. *Turrialba*, 20: 311-319.

- Martínez, R.R. 1979. Las aflatoxinas en las tortillas. *Vet. Mex.*, 10: 37-44.
- Martínez-Herrera, M.L. 1968. *Efecto de ciertos hongos sobre el valor nutritivo, calidad y conservación del maíz en Guatemala*. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Martínez-Herrera, M.L. y Lachance, P.A. 1979. Corn (*Zea mays*) kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation. *J. Food Sci.*, 44: 377-380.
- Mertz, E.T., Bates, L.S. y Nelson, O.E. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science*, 145: 279-280.
- Mertz, E.T., Jambunathan, R., Villegas, E., Bauer, R. Kies, C., McGinnis, J. y Shenk, J.S. 1975. Use of small animals for evaluation of protein quality in cereals. En *High-quality protein maize*, CIMMYT-Purdue International Symposium on Protein Quality in Maize, 1972, El Batán, México, p. 306-329. Stroudsburg, Pa., EE.UU., Dowden Hutchinson & Ross.
- Mitchell, H.H. y Smuts, D.B. 1932. The amino acid deficiencies of beef, wheat, corn, oats and soybeans for growth in the white rat. *J. Biol. Chem.*, 95: 263-281.
- Mitchell, H.H., Hamilton, T.S. y Beadles, J.R. 1952. The relationship between the protein content of corn and the nutritional value of the protein. *J. Nutr.*, 48: 461-476.
- Molina, M.R., Baten, M.A. y Bressani, R. 1978. Características microbiológicas de la masa y tortillas con y sin agregado de harina de soya y el efecto de clorinación. *INCAP Informe Anual 1977*, p. 39-42. Guatemala, INCAP.
- Molina, M.R., Letona, M. y Bressani, R. 1977. Drum-drying for the improved production of instant tortilla flour. *J. Food Sci.*, 42: 1432-1434.
- Mosqueda Suárez, A. 1954. La arepa criolla. *Arch. Venez. Nutr.*, 5: 407-423.
- Murillo, B., Cabezas, M.T. y Bressani, R. 1974. Influencia de la densidad calórica sobre la utilización de la proteína en dietas elaboradas a base de maíz y frijol. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 24: 223-241.
- Navarrete, D.A. y Bressani, R. 1981. Protein digestibility and protein quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*) fed alone and with maize, in adult humans using a short-term nitrogen balance assay. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34: 1893-1898.
- Nelson, O.E., Mertz, E.T. y Bates, L.S. 1965. Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. *Science*, 150: 1469-1470.

- Norad, M.N., Iskander, F.Y., Rooney, L.W. y Erp, C.F. 1986. Physico-chemical properties of alkali-cooked corn using traditional and presoaking procedures. *Cereal Chem.*, 63: 255-259.
- Oke, O.L. 1967. Chemical studies on the Nigerian foodstuff "ogi". *Food Technol.*, 21: 202-204.
- Onigbinde, A.O. y Akinyele, I.O. 1989. Association between chemical composition and protein digestibility of heat-damaged maize (*Zea mays*) flour. *Food Chem.*, 34: 35-39.
- Orr, M.L. y Watt, B.K. 1957. *Amino acid content of foods*. Home Economics Research Report No. 4. Washington, D.C., Dept. Agric. de los Estados Unidos. 88 pp.
- Ortega, E.I., Villegas, E. y Vasal, S.K. 1986. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.*, 63: 446-451.
- Paredes-López, O. y Saharopulos-Paredes, M.E. 1983. A review of tortilla production technology. *Baker's Dig.*, 57(5): 16-25.
- Patterson, J.I., Brown, R.R., Linkswiler, H. y Harper, A.E. 1980. Excretion of tryptophan- niacin metabolites by young men: effects of tryptophan, leucine and vitamin B₆ intakes. *Am. J. Clin. Nutr.*, 33: 2157-2167.
- Paulsen, M.R. y Hill, L.D. 1985. Corn quality factors affecting dry milling performance. *J. Agric. Eng. Res.*, 31: 255-263.
- Pearson, W.N., Stempfeler, S.J., Valenzuela, T.S., Utley, M.H. y Darby, W.J. 1957. The influence of cooked vs. raw maize on the growth of rats receiving a 9% casein ration. *J. Nutr.*, 62: 445-463.
- Pelaez, J. y Karel, M. 1980. Development and stability of intermediate moisture tortillas. *J. Food Proc. Preserv.*, 4: 51-65.
- Pérez, R.A., Tuite, J. y Baker, K. 1982. Effect of moisture, temperature and storage time on subsequent stability of shelled corn. *Cereal Chem.*, 59: 205-209.
- Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. 1988a. Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chem.*, 65: 127-132.
- Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. 1988b. Fractionation and composition of commercial corn masa. *Cereal Chem.*, 65: 262-266.
- Poey, F.R., Bressani, R., García, A.A., García, M.A. y Elías, L.G. 1979. Germ-endosperm relationship in the nutritional improvement of maize grain. En *Seed*

- protein improvement in cereals and grain legumes*, Vol. 1, p. 369-384. Viena, OIEA.
- Pomeranz, Y., Czuchajowska, Z. y Lai, F.S. 1986. Comparison of methods for determination of hardness and breakage susceptibility of commercially dried corn. *Cereal Chem.*, 63: 39-43.
- Pomeranz, Y., Czuchajowska, Z., Martin, C.R. y Lai, F.S. 1985. Determination of corn hardness by the Stenvert hardness tester. *Cereal Chem.*, 62: 108-112.
- Pomeranz, Y., Martin, C.R., Traylor, D.D. y Lai, F.S. 1984. Corn hardness determination. *Cereal Chem.*, 61: 147-150.
- Ponleit, C.G. y Alexander, D.E. 1965. Inheritance of linoleic and oleic acids in maize. *Science*, 147: 1585-1586.
- Poneros, A.G. y Erdman, J.W. 1988. Bioavailability of calcium from tofu, tortillas, non-fat milk and mozzarella cheese in rats: effect of supplemental ascorbic acid. *J. Food Sci.*, 53: 208-210.
- Pradilla, A., Linares, F., Francis, C.A. y Fajardo, L. 1973. El maíz de alta lisina en la nutrición humana. En *Simposio sobre desarrollo y utilización de maíces de alto valor nutritivo, junio 29-30, 1972. Colegio de Postgraduados, ENA. Chapingo, México, SAG.*
- Price, R.L. y Jorgensen, K.V. 1985. Effects of processing on aflatoxin levels and on mutagenic potential of tortillas made from naturally contaminated corn. *J. Food Sci.*, 50: 347-349.
- Quackenbush, F.W. 1963. Corn carotenoids: effects of temperature and moisture on losses during storage. *Cereal Chem.*, 40: 266-269.
- Rajan, P., Daniel, V.A., Padmarani, R. y Swaminathan, M. 1975. Effect of insect infestation on the protein efficiency ratio of the proteins of maize and cowpea. *Indian J. Nutr. Diet.*, 12: 354-357.
- Ranhotra, G.S. 1985. Nutritional profile of corn and flour tortillas. *Cereal Foods World*, 30: 703-704.
- Ranhotra, G. y Gelroth, J. 1988. Soluble and total dietary fiber in white bread. *Cereal Chem.*, 65: 155-156.
- Reinhold, J.G. y García J.S. 1979. Fibre of the maize tortilla. *Am. J. Clin. Nutr.*, 32: 1326-1329.
- Robles, R.R., Murray, E.D. y Paredes-López, O. 1988. Physico-chemical changes of maize starch during the lime-heat treatment for tortilla making. *J. Food Sci.*

Technol., 23: 91-98.

- Robutti, J.L., Hoseny, R.C. y Deyoe, C.W. 1974. Modified opaque-2 corn endosperm. I. Protein distribution and amino acid composition. *Cereal Chem.*, 51: 163-172.
- Robutti, J.L., Hoseny, R.C. y Wasson, C.E. 1974. Modified opaque-2 corn endosperm. II. Structure viewed with a scanning electron microscope. *Cereal Chem.*, 51: 173-180.
- Rodríguez, O.F. 1972. Producción industrial, mercadeo y distribución de masa de maíz para la preparación de arepas en Venezuela. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 109-114. Guatemala, INCAP.
- Rooney, L.W. y Serna-Saldívar, S.O. 1987. Food uses of whole corn and dry-milled fractions. En S.A. Watson y P.E. Ramsted, eds. *Corn: chemistry and technology*. St Paul., Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- Rosenberg, H.R., Rohdenburg, E.L. y Eckert, R.E. 1960. Multiple amino acid supplementation of white corn meal. *J. Nutr.*, 72: 415-422.
- Rubio, M.J. 1972a. Tortilla and process using epichlorohydrin. *US Patent 3,690,893*.
- Rubio, M.J. 1972b. Tortilla and process using carboxylic acids and their anhydrides. *US Patent 3,694,224*.
- Rubio, M.J. 1973. Tortilla and process using hydrophylic inorganic gels. *US Patent 3,709,696*.
- Rubio, M.J. 1974a. Tortilla and process using sorbic acid and its salts. *US Patent 3,853,997*.
- Rubio, M.J. 1974b. Tortilla and process using methyl, ethyl, butyl and propyl esters of parahydroxy benzoic acid. *US Patent 3,853,998*.
- Rubio, M.J. 1975. Tortilla and process using acetic and propionic acid. *US Patent 3,859,449*.
- Saldana, G. y Brown, H.E. 1984. Nutritional composition of corn and flour tortillas. *J. Food Sci.*, 49: 1202-1203.
- Sanderson, J., Wall, J.S., Donaldson, G.L. y Cavins, J.F. 1978. Effect of alkaline processing of corn on its amino acids. *Cereal Chem.*, 55: 204-213.
- Sandstead, H.H., Munoz, J.M., Jacob, R.A., Kelvay, L.M., Reck, S.J., Logan, G.M., Dintzis, F.R., Inglett, G.E. y Shvey, W.C. 1978. Influence of dietary fiber

- on trace element balance. *Am. J. Clin. Nutr.*, 31: 5180-5184.
- Sandstead, R.M., Hites, B.H. y Schroeder, H. 1968. Genetic variations in maize: effects on the properties of the starches. *Cereal Sci. Today*, 13: 82-94, 156.
- Sauer, D.B. y Burroughs, R. 1980. Fungal growth, aflatoxin production and moisture equilibrium in mixtures of wet and dry corn. *Phytopathology*, 70: 516-521.
- Schneider, K. 1987. *Experiencia del proyecto para la reducción de pérdidas postcosecha en Honduras*. Honduras, Ministerio de Recursos Naturales – Cooperación Suiza al Desarrollo
- Scrimshaw, N.S., Bressani, R., Béhar, M. y Viteri, F. 1958. Supplementation of cereal proteins with amino acids. I. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at high levels of protein intake on the nitrogen retention of young children. *J. Nutr.*, 66: 485-499.
- Scrimshaw, N.S., Béhar, M., Wilson, D., Viteri, F., Arroyave, G. y Bressani, R. 1961. All-vegetable protein mixtures for human feeding. V. Clinical trials with INCAP mixtures 8 and 9 and with corn and beans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 9: 196-205.
- Serna-Saldívar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W. y Tanksley, T.D. 1987. Effect of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. *Cereal Chem.*, 64: 247-252.
- Serna-Saldívar, S.O., Canett, R., Vargas, J., González, M., Bedolla, S. y Medina, C. 1988a. Effect of soybean and sesame addition on the nutritional value of maize and decorticated sorghum tortillas produced by extrusion cooking. *Cereal Chem.*, 65: 44-48.
- Serna-Saldívar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W., Tanksley, T.D. y Sproule, A.M. 1988b. Nutritional value of sorghum and maize tortillas. *J. Cereal Sci.*, 7: 83-94.
- Shannon, J.C. y Garwood, D.L. 1984. Genetics and physiology of starch development. En R.L. Whistler, J.N. Bemiller y E.F. Paschall, eds. *Starch, chemistry and technology*, p. 25-86. Orlando, Fla., EE.UU. Academic Press.
- Siriacha, P., Kawashima, K., Kawasugi, S., Saito, M. y Tomboon-Ik, P. 1989. Post-harvest contamination of Thai corn with *Aspergillus flavus*. *Cereal Chem.*, 66: 445-448.
- Solórzano-Mendizábal, M. de C. 1985. *Dstrucción de aflatoxinas durante el proceso de nixtamalización*. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Sproule, A.M., Serna-Saldívar, S.O., Buckholt, A.J., Rooney, L.W. y Knabe, D.A.** 1988. Nutritional evaluation of tortillas and tortilla chips from quality protein maize. *Cereal Foods World*, 33: 233-236.
- Squibb, R.L., Bressani, R. y Scrimshaw, N.S.** 1957. Nutritive value of Central American corns. V. Carotene content and vitamin A activity of three Guatemalan yellow corns. *Food Res.*, 22: 303-307.
- Sternberg, M., Kim, C.Y. y Schwende, F.J.** 1975. Lysino-alanine: presence in foods and food ingredients. *Science*, 190: 992-994.
- Tanaka, A. y Yamaguchi, J.** 1972. Dry matter production, yield components and grain yield of the maize plant. *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.*, 57: 71-132.
- Torreblanca, A., Bourges, H. y Morales, J.** 1987. Aflatoxin in maize and tortillas in Mexico. En M.S. Zuber, E.B. Lillehoj y B.L. Renpro, eds. *Aflatoxin in maize, proceedings of the workshop*, p. 310-317. El Batán, México, CIMMYT.
- Torún, B. y Viteri, F.E.** 1981. Capacity of habitual Guatemalan diets to satisfy protein requirements of preschool children with adequate dietary energy intakes. *Food Nutr. Bull. Suppl.*, 5: 210-228.
- Torún, B., Caballero, B., Flores-Huerta, S. y Viteri, F.** 1984. Habitual Guatemalan diets and catch-up growth of children with mild to moderate malnutrition. *Food Nutr. Bull. Suppl.*, 10: 216-231.
- Trejo-González, A., Feria-Morales, A. y Wild-Altamirano, C.** 1982. The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. *Adv. Chem. Ser.*, 198: 245-263.
- Truswell, A.S. y Brock, J.F.** 1961. Effect of amino acid supplements on the nutritive value of maize protein for human adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, 9: 715-728.
- Truswell, A.S. y Brock, J.F.** 1962. The nutritive value of maize protein for man. *Am. J. Clin. Nutr.*, 10: 142.
- Tsai, C.Y., Dalby, A. y Jones, R.A.** 1975. Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. *Cereal Chem.*, 52: 356-360.
- Tsai, C.Y., Huber, D.M. y Warren, H.L.** 1978. Relationship of the kernel sink for N to maize productivity. *Crop. Sci.*, 18: 399-405.
- Tsai, C.Y., Huber, D.M. y Warren, H.L.** 1980. A proposed role of zein and glutelin as N sinks in maize. *Plant Physiol.*, 66: 330-333.
- Tsai, C.Y., Warren, H.L., Huber, D.M. y Bressani, R.** 1983. Interaction between the kernel N sink grain yield and protein nutritional quality of maize. *J. Sci. Food Agric.*, 34: 255-263.

- Ulloa-Sosa, M. y Schroeder, H.W. 1969. Note on aflatoxin decomposition in the process of making tortillas from corn. *Cereal Chem.*, 46: 397-400.
- Urrutia, J.J., García, B., Bressani, R. y Mata, L.J. 1976. Report of the maize fortification. En H.L. Wilcke, ed. *Improving the nutrient quality of cereals. Report of 2nd Workshop on Breeding and Fortification*, Boulder, Colorado, EE.UU., p. 28-68. Washington, D.C., USAID.
- Valverde, V., Martorell, R., Delgado, H., Pivaral, V.M., Elías, L.G., Bressani, R. y Klein, R.E. 1981. The potential nutritional contribution of opaque-2 corn. *Nutr. Rep. Int.*, 23: 585-595.
- Valverde V., Delgado, H., Belizan, J.M., Martorell, R., Mejía-Pivaral, V., Bressani, R., Elías, L.G., Molina, M.R. y Klein, R. E. 1983. The Patulu' project: production, storage, acceptance and nutritional impact of opaque-2 corns in Guatemala. *Pub. INCAP*, p. 179. Guatemala, INCAP.
- Van Soest, P.J., Fadel, J. y Sniffen, C.J. 1979. Discount factors for energy and protein in ruminant feeds. En *Proceedings, Cornell nutrition conference for feed manufacturers*, p. 63-75. Ithaca, N.Y., EE.UU., Cornell Univ.
- Vargas, E., Muñoz, R. y Gómez, J. 1986. Composición química y valor biológico de tortillas y pan producidos a nivel industrial en Costa Rica. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 36: 456-465.
- Vineyard, M.L., Bear, R.P., MacMasters, M.M. y Deatherage, W.L. 1958. Development of "Amylo-maize" corn hybrid with high amylose starch: 1. Genetic considerations. *Agron. J.*, 50: 595-598.
- Viteri, F., Martínez, C. y Bressani, R. 1972. Evaluación de la calidad proteínica del maíz común, del maíz opaco-2 y del maíz común suplementado con aminoácidos y otras fuentes de proteína. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 195-208. Guatemala, INCAP.
- Vivas, N.E., Waniska, R.D. y Rooney, L.W. 1987. Effect of tortilla production on proteins in sorghum and maize. *Cereal Chem.*, 64: 384-389.
- Wang, Y.Y.D. y Fields, M.L. 1978. Germination of corn and sorghum in the home to improve nutritive value. *J. Food Sci.*, 43: 1113-1115.
- Watson, S.A. 1962. The yellow carotenoid pigments of corn. En W. Hechendorf y J.J. Sutherland, eds. *Proc. Corn. Res. Conf., 17th*. Washington, D.C., Am. Seed Trade Assoc.

- Watson, S.A.** 1987. Structure and composition. *En* S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. *Corn: chemistry and technology*, p. 53-82. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- Weber, E.J.** 1987. Lipids of the kernel. *En* S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. *Corn: chemistry and technology*, p. 311-349. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- Wichser, W.R.** 1966. Comparison of the dry milling properties of opaque-2 and normal dent corn. *En* E.T. Mertz y O.E. Nelson, eds. *Proc. High Lysine Corn Conference*, p. 104-116. Lafayette, Ind., EE.UU., Purdue Univ.
- Wolf, M.J., Khoo, V. y Seckinger, H.L.** 1969. Distribution and subcellular structure of endosperm protein in varieties of ordinary and high-lysine maize. *Cereal Chem.*, 46: 253-263.
- Wolf, M.J., Buzan, C.L., MacMasters, M.M. y Rist, C.E.** 1952. Structure of the mature corn kernel. *Cereal Chem.*, 29: 321-382.
- Wolzak, A., Bressani, R. y Gómez-Brenes, R.** 1981. A comparison of in vivo and in vitro estimates of protein digestibility of native and thermally processed vegetable proteins. *Plant Foods Human Nutr.*, 31: 31-43.
- Woodworth, C.M. y Jugenheimer, R.W.** 1948. Breeding and genetics of high protein corn. *Ind. Res. Rep.*, 3: 75-83.
- Yen, J.T., Jensen, A.H. y Baker, D.H.** 1976. Assessment of the concentration of biologically available vitamin B₆ in corn and soybean meal. *J. Anim. Sci.*, 42: 866-870.
- Young, V.R., Ozalp, I., Chokos, B.V. y Scrimshaw, N.S.** 1971. Protein value of Colombian opaque-2 corn for young adult men. *J. Nutr.*, 101: 1475-1481.

Bibliografía complementaria

- Adeyemi, I.A. 1983 Dry-milling of sorghum for ogi manufacture *J Cereal Sci* , 1 L221-227.
- Akingbala, J.O., Rooney, L.W. y Faubion, J.M. 1981 Physical, chemical and sensory evaluation of ogi from sorghum of differing kernel characteristics *J Food Sci* , 46 1532-1536
- Akinrele, I.A. 1964. Fermentation of cassava *J. Sci Food Agric* , 15 589-594
- Akinrele, I.A. y Edwards, C.C.A. 1971. An assessment of the nutritive value of maize-soya mixture, Soy-Ogi, as a weaning food in Nigeria *Br J Nutr* , 26 177-185
- Andah, A. y Muller, H.G. 1973 Studies on koko, a Ghanaian fermented maize porridge *Ghana J Agric Sci* , 6 93-102
- Bagley, E.B. 1979 Decontamination of corn containing aflatoxin by treatment with ammonia *J Am Oil Chem Soc* , 56. 808-811.
- Banigo, E.O.I. y Adeyemi, A.I. 1975. A comparative study of the commercial practice of traditional ogi manufacture using high-lysine (opaque-2) corn and normal corn *Proc 10th Int Congr Nutr* , Kyoto, Japón, p 402
- Bothast, R.J., Anderson, R.A., Warner, K. y Kwolek, W.F. 1981. Effects of moisture and temperature on microbiological and sensory properties of wheat flours and corn meal during storage. *Cereal Chem* , 58. 309-311.
- Braham, J.E., Flores, M., Elías, L.G., De Zaghi, S. y Bressani, R. 1969. Mejoramiento del valor nutritivo de dietas de consumo humano II. Suplementación con mezcla vegetal INCAP 9 y leche. *Arch Latinoam Nutri* , 19 253-264
- Brekke, O.L. 1968. Corn dry-milling stress crack formation in tempering of low-moisture corn, and effect on degerminator performance *Cereal Chem* , 45 291-303
- Bressani, R. 1974 Complementary amino acid patterns *En PL White y D C. Fletcher, eds. Nutrients in processed food proteins* Acton, Mass , EE UU , Publishing Sciences Group

- Bressani, R.** 1981. The role of soybeans in food systems. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 58: 392-400.
- Bressani, R. y Conde, R.** 1961. Changes in the chemical composition and in the distribution of nitrogen of maize at different stages of development. *Cereal Chem.*, 38: 76-84.
- Bressani, R., Elías, L.G. y Gómez-Brenes, R.A.** 1969. Protein quality of opaque-2 corn. Evaluation in rats. *J. Nutr.*, 97: 173-180.
- Bressani, R., Campos, A.M., Squibb, R.L. y Scrimshaw, N.S.** 1953. Nutritive value of Central American corns. IV. The carotene content of thirty-two selections of Guatemalan corn. *Food Res.*, 18: 618-624.
- Bressani, R., Elías, L.G., Scrimshaw, N.S. y Guzmán, M.A.** 1962. Nutritive value of Central American corns. VI. Varietal and environmental influence on the nitrogen, essential amino acids and fat content of 10 varieties. *Cereal Chem.*, 39: 59-67.
- Brown, R.B., Fulford, G.N., Daynard, T.B., Meiering, A.G. y Otten, L.** 1979. Effect of drying methods on grain corn quality. *Cereal Chem.*, 56: 529-533.
- Brunson, A.M. y Quackenbush, F.W.** 1962. Breeding corn with high provitamin A in the grain. *Crop Sci.*, 2: 344-347.
- Cantor, S.M. y Roberts, H.J.** 1967. Improvement in protein quality in corn-based foods. *Cereal Sci. Today*, 12: 443-445, 460-462.
- Choto, C.E., Morad, M.M. y Rooney, L.W.** 1985. The quality of tortillas containing whole sorghum and pearled sorghum alone and blended with yellow maize. *Cereal Chem.*, 62: 51-55.
- Cravioto, B., Cravioto, R.O. y Cervantes, M.** 1965. Eficiencia proteica de la harina de masa enriquecida con harina de soja y de la adicionada con proteína de ajonjolí. *Ciencia (Mex.)*, 24: 159-162.
- De Padua, M.R. y Maroun, H.P.** 1984. Rheological behavior of Venezuelan arepa dough from precooked corn flour. *Cereal Chem.*, 61: 37-41.
- Dutra de Oliveira, J.E. y de Souza, N.** 1972. El valor nutritivo de productos de la molienda del maíz, de la suplementación con aminoácidos y de mezclas de maíz común y de opaco-2. En R. Bressani, E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 209-215. Guatemala, INCAP.
- Earle, F.R., Curtis, J.J. y Hubbard, J.E.** 1946. Composition of the component parts of the corn kernel. *Cereal Chem.*, 23: 504-511.

- Erdmenger, J.J., Elías, L.G., de Souza, N., Salomon, J.B., Bressani, R., Arroyave, G. y Habicht, J.P. 1972. Estudio, en ratas, del efecto de la suplementación proteínica de una dieta típica de una comunidad rural de Guatemala. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 22: 179-190.
- Evans, J.W. 1941. Changes in biochemical composition of the corn kernel during development. *Cereal Chem.*, 18: 468-473.
- FAO/OMS. 1973. *Energy and protein requirements*. FAO Nutrition Meetings Report Series No. 52; WHO Technical Reports Series No. 522. Roma, FAO.
- Feria-Morales, A.M. y Pangborn, R.M. 1983. Sensory attributes of corn tortillas with substitutions of potato, rice and pinto beans. *J. Food Sci.*, 48: 1124-1134.
- Fernández, J.J., Guerra, M.J. y Racca, E. 1991. Precocción de harina de soya y maíz por microondas y su uso en la preparación de arepas. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 41(3).
- Fields, M.L., Hamad, A.M. y Smith, D.K. 1981. Natural lactic acid fermentation of corn meal. *J. Food Sci.*, 46: 900-902.
- Flores, M. 1966. Food intake of Guatemalan Indian children aged 1 to 5. *J. Am. Diet Assoc.*, 48: 480.
- Franz, K. 1975. Tortillas fortified with whole soybeans prepared by different methods. *J. Food Sci.*, 40: 1275-1277.
- Frey, K.J. 1949. The inheritance of protein and certain of its components in maize. *Agron. J.*, 41: 113-117.
- García-López, S. y Wyatt, C.J. 1982. Effect of fiber in corn tortillas and cooked beans on iron availability. *J. Agric. Food Chem.*, 30: 724-727.
- Gopalan, C., Belavady, B. y Krishnamurthi, D. 1969. The role of leucine in the pathogenesis of canine black-tongue and pellagra. *Lancet*, 11: 956-957.
- Graham, G.G., Lembcke, J. y Morales, E. 1990. Quality-protein maize as a sole source of dietary protein and fat for rapidly growing young children. *Pediatrics*, 85: 85-91.
- Green, J.R., Lawhon, J.T., Cater, C.M. y Mattil, K.F. 1976. Protein fortification of corn tortillas with oilseed flour. *J. Food Sci.*, 41: 656-660.
- Green, J.R., Lawhon, J.T., Cater, C.M. y Mattil, K.F. 1977. Utilization of whole undefatted glandless cottonseed kernels and soybeans to protein fortify corn tortillas. *J. Food Sci.*, 42: 790-794.

- Grogan, C.O. y Blessin, C.W. 1968. Characterization of major carotenoids in yellow maize lines of different pigment concentration. *Crop Sci.*, 8: 730-732.
- Hamad, A.M. y Fields, M.L. 1979. Evaluation of the protein quality and available lysine of germinated and fermented cereals. *J. Food Sci.*, 44: 456-459.
- Hansen, D.W., Brimhall, B. y Sprague, G.F. 1946. Relationship of zein to the total protein in corn. *Cereal Chem.*, 23: 329-335.
- Holder, D.G., Glover, D.V. y Shannon, J.C. 1974. Interaction of shrunken-2 and five other carbohydrate genes of corn endosperm. *Crop Sci.*, 14: 643-646.
- Jellum, M.D. 1967. Fatty acid composition of corn (*Zea mays* L.) as influenced by kernel position on ear. *Crop Sci.*, 7: 593-595.
- Jellum, M.D. 1970. Plant introductions of maize as a source of oil with unusual fatty acid composition. *J. Agric. Food Chem.*, 18: 365-370.
- João, W.S.J., Elías, L.G. y Bressani, R. 1980. Efecto del proceso de cocción-extrusión (Brady Crop Cooker) sobre el valor nutritivo de mezclas elaboradas a base de frijol caupí (*Vigna sinensis*)-maíz y de frijol caupí-yuca. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 30: 539-550.
- Kodicek, E. y Silson, P.W. 1959. The availability of bound nicotinic acid to the rat. 1. The effect of lime water treatment of maize and subsequent baking into tortilla. *Br. J. Nutr.*, 13: 418.
- Kodicek, E., Braude, R., Kon, S.K. y Mitchell, K.G. 1956. The effect of alkaline hydrolysis of maize on the availability of its nicotinic acid to pigs. *Br. J. Nutr.*, 10: 51.
- Kodicek, E., Braude, R., Kon, S.K. y Mitchell, K.G. 1959. The availability to pigs of nicotinic acid in tortilla baked from maize treated with lime water. *Br. J. Nutr.*, 13: 363-384.
- Krehl, W.A., Henderson, L.M., de la Hueraga, J. y Elvehjem, C.A. 1946. Relation of amino acid imbalance to niacin-tryptophan deficiency in growing rats. *J. Biol. Chem.*, 166: 531-540.
- Laguna, J. y Carpenter, K. 1951. Raw versus processed corn in niacin deficient diets. *J. Nutr.*, 45: 21.
- Lillehoj, E.B., Kwolek, W.F., Horner, E.S., Widstrom, N.W., Josephson, L.M., Franz, A.O. y Catalano, E.A. 1980. Aflatoxin contamination of preharvest corn: role of *Aspergillus flavus* inoculum and insect damage. *Cereal Chem.*, 57: 255-257.

- Makinde, M.A. y Lachange, P.A.** 1976. Tryptophan: first limiting amino acid in ogi. *Nutr. Rep. Int.*, 14: 671-679.
- Makinde, M.A. y Lachange, P.A.** 1989. Optimization of protein nutritive value of ogi. *Niger. J. Nutr. Sci.*, 10: 85-93.
- Mitchell, H.H., Hamilton, T.S. y Beadles, J.R.** 1952. The relationship between the protein content of corn and the nutritional value of the protein. *J. Nutr.*, 48: 461-476.
- Mottern, H.H., De Buckle, T.S. y Pardo, C.** 1970. Protein enrichment of Colombian corn cakes. *Cereal Sci. Today*, 15: 108-112.
- Nofsinger, G.W. y Anderson, R.A.** 1979. Note on inactivation of aflatoxin in ammonia-treated shelled corn at low temperatures. *Cereal Chem.*, 56: 120-122.
- Pardo T., F., Mora, J.O., Páez F.J., De Onshuss, Y. y De la Cruz de Villota, M.** 1972. Aceptabilidad del maíz opaco-2 en Colombia. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 22: 561-575.
- Plahar, W.A. y Leung, H.K.** 1983. Composition of Ghanaian fermented maize meal and the effect of soya fortification on sensory properties. *J. Sci. Food Agric.*, 34: 407.
- Plahar, W.A., Leung, H.K. y Coon, C.N.** 1983. Effect of dehydration and soy fortification on physico-chemical nutritional and sensory properties of Ghanaian fermented maize meal. *J. Food Sci.*, 48: 1255.
- Reddy, V. y Gupta, C.P.** 1974. Treatment of kwashiorkor with opaque-2 maize. *Am. J. Clin. Nutr.*, 27: 122-124.
- Reinhold, J.G., García, J.S. y Garzón, D.** 1981. Binding of iron by fiber of wheat and maize. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34: 1384-1391.
- Sánchez-Marroquín, A., Feria-Morales, A., Maya, S. y Ramos-Moreno, V.** 1978. Processing, nutritional quality and sensory evaluation of amaranth enriched corn tortillas. *J. Food Sci.*, 52: 1611-1614.
- Sauberlich, H.E., Chan, W.U. y Salmon, W.D.** 1953. The amino acid and protein content of corn as related to variety and nitrogen fertilization. *J. Nutr.*, 51: 241-250.
- Singh, J. y Koshy, S.** 1974. Role of opaque-2 maize in child nutrition. *Indian J. Genet.*, 34: 1182-1190.
- Sirinit, K., Soliman, A.G.M., Van Loo, A.T. y King, K.W.** 1965. Nutritional value of Haitian cereal-legume blends. *J. Nutr.*, 86: 415.

- Smith, O., De Buckle, T.S., De Sandoval, A.M. y González, A.E. 1979. Production of precooked corn flours for arepa making using an extrusion cooker. *J. Food Sci.*, 44: 816-819.
- Squibb, R.L., Braham, J.E., Arroyave, G. y Scrimshaw, N.S. 1959. A comparison of the effect of raw corn and tortillas (lime-treated corn) with niacin, tryptophan or beans on the growth and muscle niacin of rats. *J. Nutr.*, 67: 351-361.
- Tellez-Girón, A., Acuff, G.R., Vanderzant, C., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. 1988. Microbiological characteristics and shelf-life of corn tortillas with and without antimicrobial agents. *J. Food Prot.*, 51: 945-948.
- Tuite, J., Foster, G.H., Eckhoff, S.R. y Shotwell, O.L. 1986. Sulfur dioxide treatment to extend corn drying time. *Cereal Chem.*, 63: 462-464.
- Ulloa, M., Herrera, T. y Taboada, J. 1977. Pozol, a fermented maize dough consumed in Southeastern Mexico. En *Symposium on indigenous fermented foods*. Bangkok, Tailandia. Gobierno de Tailandia, PNUMA, Unesco, IFS, CFT, ICRO.
- Viteri, F.E., Torún, B., Arroyave, G. y Pineda, O. 1981. Use of corn-bean mixtures to satisfy protein and energy requirements of preschool children. En B. Torún, V.R. Young y W.M. Rand, eds. *Protein-energy requirements of developing countries: evaluation of new data*, p. 202-209. Tokio, Universidad de las Naciones Unidas.
- Watson, S.A. y Yahl, K.R. 1967. Comparison of wet milling properties of opaque-2 high-lysine corn and normal corn. *Cereal Chem.*, 44: 488-498.
- Wolzak, A., Elías, L.G. y Bressani, R. 1981. Protein quality of vegetable proteins as determined by traditional biological methods and rapid chemical assays. *J. Agric. Food Chem.*, 29: 1063-1068.
- Yamaguchi, J. 1974. Varietal traits limiting the grain yield of tropical maize. IV. Plant traits and productivity of tropical varieties. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 20: 287-304.



WHERE TO PURCHASE FAO PUBLICATIONS LOCALLY
POINTS DE VENTE DES PUBLICATIONS DE LA FAO
PUNTOS DE VENTA DE PUBLICACIONES DE LA FAO

• **ANGOLA**

Empresa Nacional do Disco e de Publicações, ENDIPU-U.E.E.
Rua Cirilo da Conceição Silva, No. 7
C P. No. 1314-C
Luanda

• **ARGENTINA**

Libreria Agropecuaria
Pasteur 743
1028 Capital Federal

• **AUSTRALIA**

Hunter Publications
P O. Box 404
Abbotsford, Vic. 3067

• **AUSTRIA**

Gerold Buch & Co.
Weihburggasse 26
1010 Vienna

• **BAHRAIN**

United Schools International
P.O. Box 726
Manama

• **BANGLADESH**

Association of Development
Agencies in Bangladesh
House No. 1/3, Block F, Lalmatia
Dhaka 1207

• **BELGIQUE**

M.J. De Lannoy
202, avenue du Roi
1060 Bruxelles
CCP 000 0808993-13

• **BOLIVIA**

Los Amigos del Libro
Peru 3712, Casilla 450, Cochabamba
Mercado 1315, La Paz

• **BOTSWANA**

Botsalo Books (Pty) Ltd
P O Box 1532
Gaborone

• **BRAZIL**

Fundação Getúlio Vargas
Praça do Botafogo 190, C P. 9052
Rio de Janeiro

CANADA (See North America)

• **CHILE**

Libreria - Oficina Regional FAO
Avda. Santa Maria 6700
Casilla 10095, Santiago
Tel 218 53 23
Fax 218 25 47

• **CHINA**

China National Publications Import &
Export Corporation
P O Box 88
100704 Beijing

• **COLOMBIA**

Banco Ganadero,
Revista Carta Ganadera
Carrera 9ª No 72 21, Piso 5
Bogotá D E
Tel 217 0100

• **CONGO**

Office national des librairies
populaires
B P 577
Brazzaville

• **COSTA RICA**

Librería, Imprenta y Litografía
Lehmann S A.
Apartado 10011
San José

• **CUBA**

Ediciones Cubanas, Empresa de
Comercio Exterior de
Publicaciones
Obispo 461, Apartado 605
La Habana

• **CYPRUS**

MAM
P.O. Box 1722
Nicosia

• **CZECH REPUBLIC**

Artia
Ve Smeckach 30, P.O. Box 790
11127 Prague 1

• **DENMARK**

Munksgaard, Book and Subscription
Service
P.O. Box 2148
DK 1016 Copenhagen K.
Tel 4533128570
Fax 4533129387

• **ECUADOR**

Libri Mundi, Libreria Internacional
Juan León Mera 851,
Apartado Postal 3029
Quito

• **ESPAÑA**

Mundi Prensa Libros S.A.
Castelló 37
28001 Madrid
Tel 431 3399
Fax 575 3998
Libreria Agrícola
Fernando VI 2
28004 Madrid
Libreria Internacional AEDOS
Consejo de Ciento 391
08009 Barcelona
Tel. 301 8615
Fax 317 0141
Libreria de la Generalitat
de Catalunya
Rambla dels Estudis, 118
(Palau Moja)
08002 Barcelona
Tel (93)302 6462
Fax 302 1299

• **FINLAND**

Akateeminen Kirjakauppa
P O Box 218
SF-00381 Helsinki

• **FRANCE**

La Maison Rustique
Flammarion 4
26, rue Jacob
75006 Paris
Librairie de l'UNESCO
7, place de Fontenay
75700 Paris
Editions A. Pedone
13, rue Soufflot
75005 Paris

• **GERMANY**

Alexander Horn Internationale
Buchhandlung
Kirchgasse 22, Postfach 3340
D-6200 Wiesbaden
Uno Verlag
Poppelsdorfer Allee 55
D 5300 Bonn 1
S. Toeche-Mittler GmbH
Versandbuchhandlung
Hindenburgrasse 33
D 6100 Darmstadt

• **GREECE**

G.C. Eleftheroudakis S.A.
4 Nikis Street
10563 Athens
John Mihalopoulos & Son S.A.
75 Hermou Street P O. Box 10073
54110 Thessaloniki

• **GUYANA**

Guyana National Trading
Corporation Ltd
45-47 Water Street, P O. Box 308
Georgetown

• **HAÏTI**

Librairie "A la Caravelle"
26, rue Bonne Foi, B P. 111
Port-au-Prince

• **HONDURAS**

Escuela Agrícola Panamericana,
Libreria RTAC
Zamorano, Apartado 93
Tegucigalpa
Oficina de la Escuela Agrícola
Panamericana en Tegucigalpa
Blvd Morazan, Apts. Glapson
Apartado 93
Tegucigalpa

• **HONG KONG**

Swindon Book Co.
13 15 Lock Road
Kowloon

• **HUNGARY**

Kultura
P.O. Box 149
H 1389 Budapest 62

• **ICELAND**

Snaebjorn Jónsson and Co. h.f.
Hafnarstraeti 9, P.O. Box 1131
101 Reykjavik

• **INDIA**

Oxford Book and Stationery Co.
Scindia House, New Delhi 110 001,
17 Park Street, Calcutta 700 016
Oxford Subscription Agency, Institute
for Development Education
1 Anasuya Ave Kripauk
Madras 600 010

• **IRELAND**

Publications Section, Stationery
Office
4 5 Harcourt Road
Dublin 2

• **ITALY**

FAO (See last column)
Libreria Scientifica Dott. Lucio de
Biasio "Aelou"
Via Coronelli 6
20146 Milano
Libreria Concessionaria Sansoni
S.p.A. "Licosa"
Via Duca di Calabria 1/1
50125 Firenze
Libreria Internazionale Rizzoli
Galleria Colonna, Largo Chigi
00187 Roma

• **JAPAN**

Maruzen Company Ltd
P O Box 5050
Tokyo International 100-31

• **KENYA**

Text Book Centre Ltd
Kijabe Street, P.O. Box 47540
Nairobi

• **KOREA, REP. OF**

Eulyoo Publishing Co. Ltd
46 1 Susong Dong, Jongro Gu
P O Box 362, Kwangwha Mun
Seoul 110

• **KUWAIT**

The Kuwait Bookshops Co. Ltd
P O Box 2942
Safat

• **LUXEMBOURG**

M.J. De Lannoy
202, avenue du Roi
1060 Bruxelles (Belgique)



WHERE TO PURCHASE FAO PUBLICATIONS LOCALLY
POINTS DE VENTE DES PUBLICATIONS DE LA FAO
PUNTOS DE VENTA DE PUBLICACIONES DE LA FAO

• **MAROC**

Librairie "Aux Belles Images"
281, avenue Mohammed V
Rabat

• **MEXICO**

Librería, Universidad Autónoma de Chapingo
56230 Chapingo
Libros y Editoriales S.A.
Av Progreso N 202-1° Piso A
Apdo Postal 18922 Col Escandón
11800 México D.F.
Only machine readable products:
Grupo Qualifa
Kansas N° 38 Colonia Nápoles
03810 México D.F.
Tel. 682-3333

• **NETHERLANDS**

Roodveldt Import B.V.
Browsersgracht 288
1013 HG Amsterdam
SDU Publishers Plantijnstraat
Christoffel Plantijnstraat 2
P O Box 20014
2500 EA The Hague

• **NEW ZEALAND**

Legislation Services
P O Box 12418
Thorndon, Wellington

• **NICARAGUA**

Librería Universitaria, Universidad
Centroamericana
Apartado 69
Managua

• **NIGERIA**

University Bookshop (Nigeria) Ltd
University of Ibadan
Ibadan

• **NORTH AMERICA**

Publications:
UNIPUB
4611/F, Assembly Drive
Lanham MD 20706 4391, USA
Toll free 800 233-0504 (Canada)
800 274 4888 (USA)
Fax 301-459 0056

Periodicals:

Ebsco Subscription Services
P O Box 1431
Birmingham AL 35201-1431, USA
Tel (205) 991-6600
Telex 78 2661
Fax (205) 991-1449
The Faxon Company Inc.
15 Southwest Park
Westwood MA 02090, USA
Tel 617-329-3350
Telex 95 1980
Cable F W Faxon Wood

• **NORWAY**

Narvesen Info Center
Bertrand Narvesens vei 2
P O Box 6125, Etterstad
0602 Oslo 6

• **PAKISTAN**

Mirza Book Agency
65 Shahrah e Quaid-e Azam
P O Box 729 Lahore 3
Sasi Book Store
Zabunnisa Street
Karachi

• **PARAGUAY**

Mayer's Internacional -
Publicaciones Técnicas
Gral Diaz 629 c/15 de Agosto
Casilla de Correo N° 1416
Asunción Tel 448 246

• **PERU**

Librería Distribuidora "Santa Rosa"
Jrón Apurmac 375, Casilla 4937
Lima 1

• **PHILIPPINES**

International Book Center (Phils)
Room 1703, Cityland 10
Condominium Cor Ayala Avenue &
H V dela Costa Extension
Makati, M M

• **POLAND**

Ars Polona
Krakowskie Przedmiescie 7
00-950 Warsaw

• **PORTUGAL**

Livraria Portugal,
Dias e Andrade Ltda.
Rua do Carmo 70-74, Apartado 2681
1117 Lisboa Codex

• **ROMANIA**

Ilexim
Calea Grivitei No 64066
Bucharest

• **SAUDI ARABIA**

The Modern Commercial University
Bookshop
P O Box 394
Riyadh

• **SINGAPORE**

Select Books Pte Ltd
03-15 Tanglin Shopping Centre
19 Tanglin Road
Singapore 1024

• **SLOVENIA**

Cankarjeva Založba
P O Box 201-IV
61001 Ljubljana

• **SOMALIA**

"Samater's"
P O Box 936
Mogadishu

• **SRI LANKA**

M.D. Gunaseena & Co. Ltd
217 Olcott Mawatha, P.O. Box 246
Colombo 11

• **SUISSE**

Librairie Payot S.A.
107 Freiestrasse, 4000 Basel 10
6 rue Grenus, 1200 Genève
Casa Postale 3212, 1002 Lausanne
Buchhandlung und Antiquariat
Heinmann & Co.
Kirchgasse 17
8001 Zurich
UN Bookshop
Palais des Nations
CH-1211 Genève 1
Van Diermen Editions Techniques
ADECO
Casa Postale 465
CH-1211 Genève 19

• **SURINAME**

Vaco n.v. in Suriname
Domneestraal 26, P.O. Box 1841
Paramaribo

• **SWEDEN**

Books and documents:
C.E. Fritzes
P O Box 16356
103 27 Stockholm
Subscriptions:
Vennergren-Williams AB
P O Box 30004
104 25 Stockholm

• **THAILAND**

Suksapan Panit
Mansion 9, Rajdamnorn Avenue
Bangkok

• **TOGO**

Librairie du Bon Pasteur
B P. 1164
Lomé

• **TUNISIE**

Société tunisienne de diffusion
5, avenue de Carthage
Tunis

• **TURKEY**

Kultur Yayinlari is - Turk Ltd Sti.
Ataturk Bulvan No. 191, Kat. 21
Ankara
Bookshops in Istanbul and Izmir

• **UNITED KINGDOM**

HMSO Publications Centre
51 Nine Elms Lane
London SW8 5DR
Tel. (071) 873 9090 (orders)
(071) 873 0011 (inquiries)
Fax (071) 873 8463
HMSO Bookshops:
49 High Holborn, London WC1V 6HB
Tel (071) 873 0011
258 Broad Street
Birmingham B1 2HE
Tel. (021) 643 3740
Soulhey House, 33 Wine Street
Bristol BS1 2BQ
Tel (0272) 264306
9-21 Princess Street
Manchester M60 8AS
Tel. (061) 834 7201
80 Chichester Street
Belfast BT1 4JY
Tel. (0232) 238451
71 Lothian Road
Edinburgh EH3 9AZ
Tel (031) 228 4181
Only machine readable products:
MicroInfo Limited
P O Box 3, Omega Road, Alton,
Hampshire GU342PG
Tel. (0420) 86848
Fax (0420) 89889

• **URUGUAY**

Librería Agropecuaria S.R.L.
Buenos Aires 335
Casilla 1755
Montevideo C.P. 11000

• **USA (See North America)**

• **VENEZUELA**

Tecni-Ciencia Libros S.A.
Torre Phelps-Mezzanina, Plaza
Venezuela
Caracas
Tel. 782 8697-781 9945 781 9954
Tamanaco Libros Técnicos S.R.L.
Centro Comercial Ciudad Tamanaco,
Nivel C-2
Caracas
Tel 261 3344 261 3335 959 0016
Tecni-Ciencia Libros, S.A.
Centro Comercial, Shopping Center
Av Andrés Bello, Urb El Prebo
Valencia, Edo. Carabobo
Tel 222 724
Fudeco, Librería
Avenida Libertador-Este, Ed. Fudeco,
Apartado 254
Barquisimelo C P 3002, Ed. Lara
Tel (051) 538 022
Fax (051) 544 394
Télex (051) 513 14 FUDEC VC

• **YUGOSLAVIA**

Jugoslovenska Knjiga, Trg.
Republike 5/8, P.O. Box 36
11001 Belgrade
Prosveta
Terazije 16/1, Belgrade

Other countries / Autres pays / Otros países
Distribution and Sales Section, FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00100 Rome, Italy
Tel (39 6) 57974608
Telex 625852 / 625853 / 610181 FAO I
Fax (39 6) 57973152 / 5782610 / 5745090