

## Digestibilidad de las proteínas de los cereales naturales y procesados

Marisa J. Guerra

### INTRODUCCION

La digestibilidad es una medida de la proporción y rapidez con la que los componentes de los alimentos son digeridos por las enzimas, para posteriormente ser absorbidos. En una comida generalmente hay una mezcla de alimentos, con sus respectivos componentes, así cuando la digestibilidad se refiere a las proteínas que son los constituyentes que aportan el contenido mas alto de nitrógeno corporal, se mide la cantidad de nitrógeno aportada por el alimento que es absorbido (1). La digestibilidad depende del tipo de alimento y del método de preparación, además de las condiciones fisiológicas de cada persona (2).

Los cereales son una fuente importante de proteínas, ya que aunque su contenido varía entre 7% y 14 %, su alto consumo, permite obtener un aporte entre el 13 y el 55 % de las proteínas de la dieta de la población de América Latina (3). Esta contribución importante en proteínas de los cereales consumidos en diferentes formas, va acompañada de un consumo importante de calorías proveniente de carbohidratos, pero puede estar afectada por los procesos (físicos, químicos, mecánicos y enzimáticos) que modifican la composición natural del grano y que influyen en la calidad, cantidad y disponibilidad de las proteínas (4). Con el procesamiento también se modifica el contenido de los otros componentes (carbohidratos, vitaminas, minerales y fibra), pero se diversifica el uso, se aumenta la estabilidad y se mejoran las propiedades funcionales y organolépticas.

El valor nutricional de los cereales viene dado principalmente por su contenido calórico y proteico. Las proteínas de los cereales en general son deficientes en lisina, lo que limita su aprovechamiento en función de contenido aminoacídico, siendo que el procesamiento no aumenta el contenido de lisina, se tratan de evitar las pérdidas por reacciones de Maillard (entre lisina y azúcares reductores) o de enriquecer con lisina. El procesamiento mejora la calidad de las proteínas aumentando su digestibilidad, la cual varía entre un 40% a un 60 % en los cereales naturales y puede llegar a un rango de 75%-99 % en los procesados (5). El aumento de la digestibilidad se produce por disminución del contenido de fibra y de taninos, y por los tratamientos térmicos adecuados que desnaturalizan la proteína, abren la estructura y facilitan la acción de las enzimas, aumentando la biodisponibilidad. En este trabajo se suministrará información sobre el efecto del procesamiento comercial de los cereales en la composición de los productos obtenidos y sobre la digestibilidad de los mismos.

### Procesamiento de los cereales

Los cereales son los alimentos que aportan la mayor cantidad de energía y de proteínas a nivel mundial por su alto consumo, ya que no son fuentes proteicas como las carnes, pescados o leguminosas, ni fuentes calórica como las grasas y aceites. Pero la adaptación de los cultivos, los altos rendimientos por hectárea, el desarrollo tecnológico para su procesamiento y el costo relativamente bajo de los diversos productos, ha hecho que los cereales sean aceptados como la base principal de la alimentación de muchos países en el mundo.

La mayor parte de los cereales consumidos y comercializados a nivel mundial son procesados para la obtención de grano pulido, harinas refinadas o harinas integrales, que son la materia prima para la obtención de los diferentes productos (6,7). En la Tabla 1, se presenta el rendimiento de algunos cereales, las harinas obtenidas y su contenido de proteína y energía, así como el rendimiento en proteínas. Se puede observar que el maíz, el arroz y el trigo tienen los rendimientos mas elevados en el campo, la avena tiene el mayor contenido de proteínas y el trigo el mayor rendimiento en proteínas. De estos cereales los que tienen mayor importancia para Latinoamérica y el Caribe son el maíz, el arroz y el trigo, porque son los mas cultivados y consumidos.

TABLA 1  
Comparación del rendimiento en granos y contenido de energía y proteínas en los cereales

Cereal	Rend. (Ton/ha)	Prod. obten.	Energía (Kcal/g)	Pot (%)	Rend. Prot. (Ton/ha)
Trigo	2.40	Harina Blanca	3.85	11.2	0.22
Arroz	3.48	Grano pulido	3.75	7.5	0.19
Maíz	3.66	Harina integ.	3.97	7.5	0.15
Sorgo	1.35	Harina blanca	3.85	9.3	0.09
Cebada	2.31	Harina blanca	3.90	8.2	0.11
Centeno	2.14	Harina blanca	3.75	7.3	0.14
Avena	1.75	Harina blanca	3.92	14.2	0.14

Fuente: FAO, 1993. (6)

El maíz es consumido diariamente en centroamérica por casi toda la población, mientras que en Chile y Argentina se consumen productos de trigo a diario y en mas de una comida, en Brasil se produce y consume arroz y trigo principalmente. En la Tabla 2 se indica el aporte de energía y proteínas provenientes del arroz, maíz y trigo; por lo que se confirma que son una fuente calórica-proteica importante para las diferentes regiones.

TABLA 2  
Aporte de energía y proteínas de los cereales

País	Energía (% del total regional)			Proteína (% del total)		
	Arroz	Trigo	Maíz	Arroz	Trigo	Maíz
Arg.-Chile-Urug.	1.3	30.7	1.4	1.0	20.4	-
Suramerica (Trop.)	14.9	12.8	9.3	12.9	8.0	12.7
Centro América	5.1	11.4	35.0	5.0	7.4	30.0

Fuente: FAO, 1993. (6)

La composición de los cereales varía de acuerdo al procesamiento, así del arroz el principal producto obtenido es el arroz pulido que se obtiene al separar la cáscara y las capas externas, y el principal componente son los carbohidratos. En el caso del trigo, la molienda permite separar las diferentes partes del grano para obtener harinas blancas, germen y afrecho. Para el maíz también por molienda seca, se separan los componentes estructurales para obtener el endospermo, el germen y el afrecho. El endospermo se puede usar para obtención de harinas crudas o precocidas, hojuelas para cervecera y almidones; el germen para la extracción de aceite y el afrecho se utiliza en su mayoría para la alimentación animal. En estos procesos la mayor parte de la fibra y los taninos se concentran en los afrechos, o se reparte proporcionalmente en las harinas integrales (Tabla 3). Se puede notar que la proteína en el cereal integral y en las harinas blancas no tiene una diferencia acentuada, pero la grasa y la fibra, si presentan una disminución considerable de 50% a 85 % en todos los cereales, siendo que en el caso de los taninos estos pueden reducirse en un 100 % como en el maíz y el arroz (Tabla 3).

TABLA 3  
Composición<sup>a</sup> proximal de los cereales  
(g/100g)

Cereal	Proteína (N X 6.25)	Grasa	Carboh. Dispon.	Fibra diet. Total	Cen.	Tan
Arroz Integ.	7.3	2.2	71.1	4.0	2.7	1.4
Arroz Pulido	7.0	0.5	80.0	0.9	0.8	0.5
Trigo Integ.	12.2	1.9	61.6	10.5	7.8	2.0
Harina Blanca	10.0	0.7	76.0	2.7	1.6	0.5
Maíz Integral	9.8	4.9	60.9	9.0	6.8	1.4
Maíz Endosp.	8.0	0.8	78.2	1.3	2.7	0.3
Avena	9.3	5.9	63.0	5.5	3.9	2.3

<sup>a</sup> En base a 14% de humedad.

Fuente: Juliano, 1993; FAO, 1989. (3,8)

Estos cambios en composición al separar los componentes del grano (Tabla 4), mejoran la estabilidad ya que al disminuir el contenido de grasa aumenta la vida útil de las harinas o los granos pulidos, pero los afrechos y el germen que es donde se concentran las grasas se deterioran más rápido. Al disminuir la fibra dietética insoluble mejora la palatabilidad y la digestibilidad, ya que el contenido de fibra del grano integral o del afrecho disminuye la actividad de las enzimas salivales por lo que aumenta el tiempo de hidrólisis del almidón y de liberación de la glucosa, esto afecta el dulzor y le da la sensación de aspereza del pan y otros productos integrales. También a nivel intestinal la fibra puede impedir la acción de las enzimas digestivas y disminuir la digestibilidad de las proteínas (9).

TABLA 4  
Composición proximal de las diferentes partes del grano de algunos cereales (g/100g)

	Prot.	Grasa	Ceniza	Carbh. Disp.	Fib. Diet ins
Arroz: integral	7.5	1.9	1.2	80.0	3.4
Pulido	6.7	0.4	0.5	83.0	0.7
Har. grano pulido	7.0	0.5	0.5	82.8	1.2
afrecho	13.2	16.0	7.5	48.0	25.0
cáscara	2.4	0.5	16.1	28.0	70.0
Maíz: integral	9.8	4.9	1.4	60.9	6.8
endospermo	7.6	0.8	0.3	85.0	1.3
germen	17.4	30.0	9.5	16.0	18.0
afrecho (pericp.)	3.7	1.0	0.8	7.3	86.2
Trigo: integral	12.0	2.0	2.0	69.0	3.0
endospermo	10.0	1.0	0.5	76.0	1.4
germen	28.0	15.0	5.0	40.0	14.5
afrecho	15.0	5.0	10.0	20.0	40.0

Fuente: FAO, 1992; Godon y Willm, 1994; Juliano, 1993; Guerra y col. 1988. (8,10,11)

#### Efecto del procesamiento sobre el valor nutricional

El objetivo del procesamiento depende de la naturaleza de la materia prima y del propósito con que se está procesando. La mayoría de los alimentos son procesados para mejorar su digestibilidad, darle una apariencia agradable ante el consumidor y aumentar su estabilidad para incrementar la seguridad en el suministro del alimento (3).

Durante el procesamiento ocurren muchos cambios en el contenido de nutrientes de los cereales. En muchos casos se reducen o eliminan factores antinutricionales, también pueden ocurrir cambios en el contenido de aminoácidos y proteínas; en las vitaminas y minerales, donde se puede aumentar o disminuir su disponibilidad y se pueden desarrollar aromas y sabores deseables.

La molienda de los cereales, como el trigo, maíz, arroz, avena y cebada es un proceso usado para producir harinas blancas, arroz pulido, almidones, glucosa y jarabe de maíz. Esta molienda (por vía húmeda o seca) generalmente es un proceso de obtención de materia prima, que se utiliza para la preparación de productos (panes, pastas, cereales para desayuno, granolas, cervezas, etc.) a través de otros procesos como son la extrusión, el horneado, mezclado y deshidratación en rodillos, cocción por vapor y deshidratación en bandejas etc. Los procesos secundarios posteriores a la molienda en su mayoría necesitan aplicación de calor, el tratamiento térmico depende del producto a ser obtenido, pero el propósito general es inactivar enzimas y destruir microorganismos para asegurar la inocuidad del alimento, aumentar la estabilidad del alimento e impartir textura (12). El procesamiento térmico puede afectar el valor nutricional dependiendo principalmente de la temperatura aplicada y la duración. En consecuencia, en los cereales hay un efecto positivo porque el calor destruye factores tales como inhibidores de tripsina y de amilasas y aumenta la disponibilidad de proteínas y carbohidratos (4). El procesamiento térmico incrementa la digestibilidad del almidón y las proteínas (por gelatinización y desnaturalización, respectivamente), además, aumenta la disponibilidad de la niacina, la cual en muchos de los cereales se encuentra en forma enlazada, los enlaces se rompen por efecto del calor dejando la molécula de tiamina libre. La hidrólisis de los almidones por proceso ácido o enzimático para obtener dextrina o maltosa, envuelve la aplicación de calor, donde por ambos efectos se obtienen productos de alta digestibilidad

y rápida absorción (13). El efecto en las propiedades organolépticas de los cereales, es uno de los factores deseables del tratamiento térmico, ya que se incrementa la palatabilidad y se imparte textura, aroma, sabor y color. Las mejoras en el color que se obtienen al hornear a temperaturas superiores a los 200°C productos a base de cereales, pueden resultar desfavorables desde el punto de vista nutricional, ya que pueden ocurrir por reacciones de oscurecimiento no enzimático (reacción de Maillard) entre proteínas, aminoácidos (especialmente lisina) y azúcares. Algunas vitaminas, sobre todo las solubles en agua, especialmente vitamina C, tiamina y riboflavina son más sensibles al procesamiento térmico que las solubles en grasa (A, D, E, K) (12).

La retención de las vitaminas de los cereales procesados puede ser tan baja como un 10% o tan alta como 100% (3). Los minerales no son afectados por el tratamiento térmico, pero su disponibilidad puede ser alterada como un resultado de su interacción con otros componentes del alimento (14). Además, se puede producir pérdida de minerales, si se hace cocción en agua y esta se elimina, por ejemplo durante la cocción de las pastas se pierde entre el 85%-100% del manganeso, hierro, cobre, Zinc, calcio y magnesio (5). En el tratamiento térmico con agua e hidróxido de calcio y posterior secado y molienda, para la obtención de la harina para tortillas, se producen pérdidas en tiamina (50% a 72%), niacina (28% a 54%) y riboflavina (28% a 36%) (10), aunque se aumenta ligeramente la proteína y significativamente la cantidad y disponibilidad del calcio (15). El cambio en otros minerales depende de la pureza del hidróxido de calcio y del equipo utilizado en la molienda, pero generalmente aumenta el contenido de magnesio, fósforo y hierro (16).

Varios estudios han demostrado que el procesamiento del maíz para la preparación de las tortillas disminuye el valor nutritivo del maíz y la digestibilidad (16-18). El endospermo del maíz sometido a cocción, deshidratación y molienda para la obtención de la harina precocida para la elaboración de las arepas (consumidas en Venezuela y Colombia), pierde hasta el 30% de su contenido de tiamina, niacina y riboflavina (19), pero se aumenta la digestibilidad de las proteínas (20). El proceso de cocción por extrusión del endospermo de maíz para obtención de productos tipo «snack» aumenta la disponibilidad del hierro en relación al producto no extruido (21).

En general, durante la separación de las capas externas de los granos de cereales para obtener los granos pulidos, el endospermo o las harinas refinadas, es cuando se disminuye el valor nutricional del grano natural, porque se disminuye el contenido de proteínas, vitaminas y minerales. Estos junto con la fibra se encuentran en una elevada proporción en el afrecho, germen y escutelo que son separados durante la molienda o proceso de extracción. La extensión de este proceso va a afectar el contenido de nutrientes de las harinas, así como los grados de extracción alrededor del 70%, producen harinas con 40%-60% menos de las vitaminas y minerales presentes originalmente en el grano o con respecto a la harina integral (22), por lo que en la mayoría de los países se requiere enriquecer los cereales o productos a base de cereales con tiamina, riboflavina, niacina y hierro para reemplazar las pérdidas por procesamiento.

En la Tabla 5 se observa el contenido de algunas vitaminas del grupo B y tocoferol en los granos integrales, se puede apreciar que hay una mayor concentración en el afrecho y el germen al separar los componentes del grano. En el endospermo se queda la menor proporción de las vitaminas del grupo B y la vitamina E se reduce entre 75% y 100%. La reducción de la vitamina E es una consecuencia de la separación de la mayor parte de la grasa a los fines de aumentar la estabilidad de las harinas.

TABLA 5  
Contenido de vitaminas en diferentes partes del grano de cereales (mg/100g)

Componente	Tiamina (B <sub>1</sub> )	Riboflavina (B <sub>2</sub> )	Niacina (PP)	Tocoferol (E)
Arroz: integ.	0.29	0.07	4.0	0.8
pulido	0.06	0.04	1.8	0.2
afrecho	1.8	0.31	38.3	7.9
casaca	0.15	0.06	2.8	0
Maíz: integral	0.38	0.19	2.0	-
Harina nixtamalizada	0.08	0.05	2.1	-
Harina endospermo	0.05	0.09	0.8	-
Trigo: integ.	0.45	0.10	3.7	1.4
Harina: endospermo	0.22	0.44	1.2	-
germen	15.85	2.55	8.0	27.5
afrecho	1.74	1.17	64.5	-
Avena hojuelas	0.60	0.14	1.3	0.8

Fuente: Godon y Willm, 1994; Juliano, 1993. (8)

#### Calidad proteica y digestibilidad de los cereales

La calidad de las proteínas viene dada por el contenido de aminoácidos esenciales, por la facilidad con que es digerida y por la capacidad de utilización de los aminoácidos esenciales en las cantidades requeridas para los procesos fisiológicos de los humanos (23). El contenido de aminoácidos ideal es el más cercano a la del patrón de referencia de la FAO, o al contenido de las proteínas de la carne o los huevos. Para la digestibilidad se usan los términos de "Digestibilidad Verdadera" y "Digestibilidad Relativa" en relación a las proteínas de la leche, el huevo o la carne, a las que se le ha asignado un valor de 100 (24). Por consiguiente, se ha establecido que una forma adecuada de medir la calidad de la proteína es determinando ambos parámetros o corrigiendo el cómputo aminoácido por la digestibilidad verdadera (23,25).

La calidad de las proteínas de los cereales es baja comparada con las proteínas de origen animal o de la soya. Esto es motivado a las deficiencias en lisina, triptofano, treonina e isoleucina, pero en general, la lisina es el primer limitante, por lo que el cómputo aminoácido se encuentra en un rango entre 40%-66% (Tabla 6) para las harinas integrales y no hay una diferencia marcada con las harinas procesadas, aunque el arroz y la avena tienen valores superiores a los otros cereales. La digestibilidad aumenta ligeramente al separar la fibra, y los taninos presentes en las capas externas del grano, cuando se separa el endospermo, por lo que las harinas blancas de arroz y trigo tienen valores comparables a la proteína de origen animal (superior al 95%) y las harinas integrales tienen valores en un rango de 74% a 86% (Tabla 7).

TABLA 6  
Contenido de aminoácidos en cereales integrales

Cereal	Lisina	Treon.	Met.+Cist. (g/16gN)	Triptof	Comp. Aminoac. (%)
Arroz	3.8	3.6	3.9	1.1	66.0
Trigo	2.3	2.8	3.6	1.0	40.0
Maíz	2.5	3.2	3.9	0.6	43.0
Sorgo	2.7	3.3	2.8	1.0	47.0
Avena	4.0	3.6	4.8	1.0	69.0

Fuente: Godon y Willm, 1994

TABLA 7  
Digestibilidad verdadera de las proteínas de cereales calculada en adultos y niños y comparada con proteínas de origen animal

Fuente de proteína	Digestib. (%)	Dig. relativa (%)
Arroz integral	80±3	85
Arroz pulido	88±4	93
Trigo integral	86±5	90
Trigo endospermo	96±4	101
Maíz integral	85±6	89
Sorgo	74	78
Avena	86±7	90
Carne	94±3	100 <sup>a</sup>
Huevo	97±3	100 <sup>a</sup>
Leche	95±3	100 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Digestibilidad media de 95% /Fuente: WHO, 1985. (24)

El valor nutricional del producto consumido depende de la composición del cereal natural, de su digestibilidad, de la composición de la harina de donde se obtuvo el producto y del proceso para la obtención. El valor nutricional de las proteínas de los cereales es baja, pero puede mejorarse si se consumen en la misma comida junto con leguminosas u otra fuente de proteínas (carne, pescado, huevo, etc.) que aporte la cantidad de lisina u otro aminoácido en el cual sea deficiente la proteína del cereal. Se han hecho numerosos estudios de calidad de las proteínas de los cereales utilizando diferentes parámetros, los cuales indican que su valor biológico, utilización o eficiencia proteica, esta por debajo del óptimo deseable debido a sus deficiencias aminoacídicas (26).

En la Tabla 8 se presentan valores de calidad proteica medida de diferentes formas en experimentos con ratas, se puede observar que el arroz y la avena presentan la proteína de mejor calidad, siendo el sorgo el que presenta los valores mas bajos. Los valores de digestibilidad verdadera son altos, pero siempre que la proteína se digiere debe haber un máximo aprovechamiento de los aminoácidos y esto no ocurre en los cereales, ya que la utilización de la proteína esta limitada por sus deficiencias aminoacídicas. La calidad de las proteínas de los cereales ha sido evaluada por varios investigadores en estudios con niños. Un estudio utilizando proteínas de maíz y la técnica del balance de nitrógeno, mostró que la proteína del maíz consumida en la misma proporción que la de leche (1.25 g/kg/día) se absorbía en un porcentaje similar (75%) en comparación con la leche (80%), pero la retención era menos de la mitad (38% y 16% para leche y maíz, respectivamente). La digestibilidad de la proteína fue de 75% para el maíz y 80% para la leche (27). Este y otros estudios similares mostraron las deficiencias de lisina, triptofano, metionina, valina e isoleucina en la proteína del maíz, sin embargo, la suplementación con los diferentes aminoácidos ha demostrado que solo la lisina y el triptofano, inducen retención positiva de nitrógeno alcanzando niveles iguales o superiores a los obtenidos con la proteína de la leche. Resultados similares se han encontrado cuando se han suministrado a niños pre-escolares dietas a base de maíz opaco-2, donde la digestibilidad verdadera de la proteína fue de 87% y el valor biológico de la proteína de 90% (10).

Ensayos con 8 adultos consumiendo proteína de maíz opaco-2 (2.64 a 3.95 g N/día) y usando proteína de huevo como referencia, indicaron que el maíz tenía un valor biológico de 80%, mientras que el valor del huevo fue de 96%. La digestibilidad verdadera varió de 67% a 106%, con un promedio de 92%, mientras que la del huevo fue de 78%-103%, con un valor promedio de 96% (29). En los trabajos antes señalados se observa que al aumentar la calidad de la proteína del maíz se mejora su digestibilidad y por lo tanto la disponibilidad.

TABLA 8  
Calidad<sup>a</sup> de las proteínas de los cereales integrales

Cereal	Valor Biológico (%)	Utilización Proteica Neta Proteica	Relación Eficiencia (%)	Digestibilidad Verdadera	Prot. Utilizable (%)
Arroz	74.0	73.8	2.1	99.7	5.4
Maíz	54.7	52.1	1.2	95.5	5.7
Trigo	55.0	53.0	1.6	96.0	5.6
Avena	70.4	59.1	2.3	84.1	5.5
Sorgo	59.2	50.0	1.0	84.8	4.2

<sup>a</sup> Ensayos con ratas

Fuente: FAO, 1989; Eggum, 1979; Guerra, 1983. (3,19,28)

Se han hecho muchos trabajos de complementación o enriquecimiento para demostrar que tan importante pueden ser las deficiencias aminoacídicas en los cereales, sobre todo en lisina y se ha señalado que la calidad de la proteína es un factor importante en la biodisponibilidad de nutrientes de los cereales. Estudios en ratas alimentadas con tortillas de maíz suplementadas con lisina y triptofano demostraron mejor retención de calcio, mayor utilización de la niacina y del caroteno (en tortillas de maíz amarillo) en comparación con las tortillas sin suplementar con los aminoácidos (10). La digestibilidad no mejora al suplementar las tortillas, pero si se suplementa el maíz sin el tratamiento con el hidróxido de calcio, se encuentra un aumento en la digestibilidad. Se ha indicado que esto puede ser producido por interacción hidrofóbica, denaturación proteica y formación de enlaces cruzados de la proteínas disminuyendo la solubilidad de los aminoácidos durante la digestión enzimática (16,18). Se han reportado valores de digestibilidad de 88%, 91% y 79% para el maíz, la masa y las tortillas respectivamente (17) y de 76.5% para el maíz y 72.8%, para las tortillas (18).

En la Tabla 9 se presentan los resultados de estudios de balance de nitrógeno realizados por Maclean (30-31) en niños pre-escolares peruanos que consumieron proteínas de cereales (arroz, trigo, maíz y sorgo), se observa que hay una alta absorción aparente de nitrógeno cuando consumían fideos de trigo, también fue alta la proteína utilizable para los fideos y el arroz.

La proteína del maíz opaco-2 tiene mayor absorción aparente y proteína utilizable que el endospermo de maíz normal y que el sorgo. Aunque no se indica la digestibilidad de los alimentos, de los datos presentados en la Tabla 7 se puede ver que la mayor digestibilidad de los cereales corresponde al endospermo de trigo (96%), que es el principal componente de los fideos, mientras que el arroz tiene una digestibilidad menor (88%) y aportó menos nitrógeno, lo que ocasionó un aprovechamiento menor de la proteína, a pesar de que el arroz tiene mayor contenido de lisina (Tabla 6).

Estudios de Digestibilidad y balance de nitrógeno en 5 hombres que consumieron proteínas de arroz en dietas altas y bajas en proteínas y fibra (Tabla 10), mostraron una alta digestibilidad de energía, proteína y grasas para arroz pulido, pero la digestibilidad de la proteína disminuyó al disminuir la proteína de la dieta y al aumentar el contenido de fibra. En todos los casos el balance nitrogenado fue negativo y el tiempo de tránsito intestinal fue mayor cuando la dieta era de arroz pulido y baja en proteínas, pero fue similar para arroz integral y pulido cuando la dieta tenía un contenido estándar de proteínas, aunque la dieta de arroz integral tenía el doble de fibra insoluble. El alto contenido de fibra influyó poco en la digestibilidad verdadera de las dietas que presentaron valores de 80.2% y 86.6% para las dietas de arroz pulido e integral respectivamente (8).

TABLA 9  
Utilización de la proteína en niños pre-escolares peruanos alimentados con cereales

Cereal cocinado	Proteína (% N X 6.25)	Lisina (g/16Ng)	Nº de niños	N Cons. día (mg/100Kcal)	Abs. Ap. N (%)	Ret. Ap. N (%)	Cal. Prot. (% de cas.)	Prot. Utiliz. (%)
Arroz pulido	7.2	3.9	8	240	66.6	28.6	76.1	5.5
fideos	11.4	2.5	9	262	81.4	20.4	51.0	5.8
Har. end. maíz	7.1	2.2	6	256	64.1	15.1	40.8	2.9
Har. end. maíz (Opaco-2)	6.5	3.4	6	256	69.6	22.8	62.0	4.0
Har. sorgo intg.	12.0	2.2	9	320	46.0	12.0	28.0	3.4

Fuente: Maclean y Col., 1980, 1981. (30,32)

TABLA 10  
Digestibilidad y balance de nitrógeno en hombres consumiendo dietas estándar y bajas en proteínas a base de arroz integral y pulido

Dieta	Fibra ins		Digestibilidad (%)			Bal. Nit. (g/día)	Tpo. Trans. Int. (horas)	
	Cons. (g/día)	de arroz	Aparente energía	Aparente proteína	Verdadera proteína			
Arroz integral (baja en proteína)a	13.9	13.9	89.8	48.4	63.8	76.6	-1.09	24.0
Arroz pulido (baja en proteína)	5.7	5.7	96.0	68.0	83.2	94.9	-0.71	36.2
Arroz integral (estándar en proteína)b	31.4	23.2	89.3	72.7	80.2	74.1	-0.02	27.1
Arroz pulido (estándar en proteína)	15.4	7.2	94.4	79.6	86.6	94.7	-0.38	28.1

a) baja en proteína consumiendo 0.5 g/Kg peso corporal

b) estándar en proteína consumiendo 1.2 g/Kg peso corporal

Fuente; Juliano, 1993. (8)

De todo lo expuesto se puede concluir que la digestibilidad de los cereales es afectada por la calidad de la proteína y puede aumentar al complementar las deficiencias aminoacídicas de las proteínas por enriquecimiento o complementación. Además, se puede indicar que el procesamiento tiene más ventajas funcionales que nutricionales, pero la digestibilidad aumenta por disminución del contenido de fibra y de taninos, así como con los tratamientos térmicos adecuados.

### REFERENCIAS

1. FAO. Food and Nutrition Terminology. Definition of Selected Terms and Expressions in Current Use. Terminology Bulletin No 28. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome. 1974.
2. Whitney E & Hamilton M. Understanding Nutrition. Ed. West. Pub. Company. London. 1984.
3. FAO. Utilization of Tropical Foods: Cereals. FAO Food and Nutrition Paper 47/1. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome. 1989.
4. IFT. Effects of food processing on nutritive values. A Scientific Status Summary by the Institute of Food Technologists Expert Panel on Food Safety & Nutrition, Inst. of Food Technologists, Chicago, IL. 1986.
5. Lund D. Effect of Processing on nutrient content and nutritional value of food: Heat processing. In CRC Handbook of Nutritive Value of Processed Food. Vol. I. Food for Human Use. Ed. M. Rechcigl, CRC Press, Boca Raton, FL. 1982.
6. FAO. FAO Yearbook Annuaire Production 1993. FAO Statistics Series N° 117. Vol. 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 1994.
7. INTERNATIONAL WHEAT COUNCIL. 1994. World Grain Statistics 1993. England.
8. Juliano B. Rice in Human Nutrition. FAO, Food and Nutrition Series, N° 26. Rome. 1993.
9. Dreher ML. Handbook of Dietary Fiber. Chap.3. Merce Dekker Inc. New York. 1987.
10. FAO. Maize in Human Nutrition Series N° 25. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 1992.
11. Guerra M, M Mosqueda, & M Padua. Tecnología de Cereales y Poder Sustitutivo en: Los Cereales en el Patrón Alimentario del Venezolano. Ed. CCIAN, Caracas. 1988.
12. Fennema O. Chemical changes in food during processing-an overview. Chapter 1, p. 1-13. In Chemical Changes in Food During Processing. Edit Richardson Finley. AVI. IFT. New York. 1985.
13. Guerra M. Los cereales en la alimentación infantil. Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría, 55: 88-92, 1991.
14. Rendleman J A. Carbohydrate-Mineral Complexes in Foods. In Interactions of Food Components. Chapter 5, 1986. p. 63-83. Eds. G. G. Birch and M. G. Lindley. Elsevier Applied Science Publishers. London.
15. Ranhotra GS. Nutritional profile of corn and flour tortillas. Cereal Foods World, 30: 703-4, 1985.
16. Bressani R. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. Food Rev. Int., 6: 225-64, 1990.

17. Ortega E, E Villegas & SK Vasal. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.*, 63: 446-51, 1986.
18. Serma-Saldivar S, DA Knabe, LW Rooney & TD Tansley. Effect of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. *Cereal Chem.*, 64:247-52, 1987.
19. Guerra M, Marnias, W Jaffe & H Arce. Factibilidad tecnológica del enriquecimiento de las harinas de maíz precocidas. Memorias del II Congreso Sobre Normas Técnicas y Control de Calidad en Venezuela. Ed. COVENIN. Caracas, Venezuela, 1983.
20. Chávez JF. Calidad nutritiva de la proteína de la harina de arepa y su mejoramiento por medio de la fortificación en Venezuela. En *Mejoramiento Nutricional del maíz*. R Bressani, JE Braham & M Béhar, eds. INCAP Pub. L-3, 1972. p. 116-25. Guatemala, INCAP.
21. Hazell T. & IT Jonhson. Influence of food processing on iron availability in vitro from extruded maize-based snack foods. *J. Sci. Food Agric.*, 46: 365-74, 1989.
22. Inglett G. Effect of Refining Operations on Cereals. In *Nutritional Evaluation of Food Processing*, Chap. 8, part 1. Ed R. S. Harris and Karmas. AVI Pub. Co., Inc., Westport, CT. 1975.
23. Henley EC & JM Kuster. Protein quality evaluation by protein digestibility-corrected amino acid scoring. *Food Technol.*, 25: 74-7, 1994.
24. FAO/WHO/UNU. Energy and Protein Requirements, Report of the Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Technical Report Series N° 724 FAO, WHO and the United Nations University, Geneva, Switzenland. 1985.
25. FAO/WHO. Protein Quality Evaluation. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. Food and Nutrition Paper N° 51. Food and Agriculture Organizations and the World Health Organization, Rome, Italy. 1989.
26. Eggum BO. The nutritional value of rice en comparison with other cereals. En: *Proceedings, Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality*, 1979. p. 91-111. Los Baños, Laguna, Philippines.
27. Viterif F, C Martínez & R Bressani. Evaluación de la calidad proteínica del maíz común, del maíz opaco-2 y del maíz común suplementado con aminoácidos y otras fuentes de proteína. In *Mejoramiento Nutricional del Maíz*. 1972. p.195-208. R. Bressani, J. E> Braham & M. Béhar eds. INCAP Pub. Guatemala.
28. Eggum B & C Wilson. The nutritional value of rice in comparison with other cereals. En: *Proceedings. Workshop on chemical aspects of rice grain quality*. Los Baños. Philippines. IRRI. 1979.
29. Young VR, I Ozalp, BV Chokos & NS Scrimshaw. Protein value of Colombian opaque-2 corn for young adult men. *J. Nutr.*, 101: 1475-14, 1971.
30. Maclean WC, AG López de Roma, RP Placko, & GG GRAHAM. Protein quality and digestibility of sorghum in preschool children : balance studies and plasma free amino acid. *J. Nutr.*, 111: 1928-36, 1981.
31. Maclean WC, AG López de Roma, GL Kleom, E Massa, ED Mellits, & GG Graham. Digestibility and utilization of the energy and protein of wheat by infants. *J Nutr.*, 109:1290-8, 1979.
32. Graham G, G Glover, DV López de Romana, G Morales E. & Maclean, W C. Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children. I. Digestibility and utilization. *J. Nutr.*, 110: 1061-9, 1980.