

**DIGESTIBILIDAD DE LA PROTEINA Y ENERGIA DE
DIETAS ELABORADAS A BASE DE ARROZ Y FRIJOLES
EN HUMANOS ADULTOS¹**

*Emilio Vargas,² Ricardo Bressani,³ Delia Navarrete,⁴
J. Edgar Brabam³ y Luiz G. Elías⁴*

**Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP),
Guatemala, Guatemala, C. A.**

RESUMEN

Se llevaron a cabo cuatro estudios con el objeto de medir la digestibilidad de dietas a base de arroz y frijol (*Phaseolus vulgaris*), y cuantificar el

Manuscrito modificado recibido: 8-7-83.

- 1 Esta investigación se llevó a cabo con fondos de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU), Tokio, Japón.
- 2 Investigador Asociado del Programa de Entrenamiento Tutorial Avanzado del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá y la Universidad de las Naciones Unidas (INCAP/UNU), con sede en el INCAP. En la actualidad el Dr. Vargas es investigador del Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), Apartado 4, Tres Ríos, Costa Rica, y Profesor Asociado de la Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica.
- 3 Jefe, y Jefe Adjunto de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP, respectivamente.
- 4 Científicos de la citada División.

Publicación INCAP/UNU-30.

efecto de la suplementación con proteína animal (leche) y energía (aceite) sobre la digestibilidad de la energía y proteína de tales dietas en humanos adultos. Las dietas se ofrecieron a modo que aportaran 46, 72 y 103 mg N/kg día. Al suministrar la dieta basal en la que el arroz aportó 60% de la proteína y el frijol 40%, a un nivel de 102.5 mg de nitrógeno/kg/día y 49.5 Kcal/kg/día de energía bruta, se observó una digestibilidad aparente y verdadera del nitrógeno, y una digestibilidad de energía y energía metabolizable de 59.1, 70.8, 93.8 y 92.5%, respectivamente. Al sustituir en esta misma dieta 10% de la proteína vegetal por proteína de leche, los mismos indicadores señalados acusaron una digestibilidad de 65.3, 76.8, 93.5 y 92.1%, respectivamente. La información indica que la suplementación con proteína animal mejora la absorción del nitrógeno a cualquiera de los niveles de energía estudiados. En cambio, la suplementación calórica no tiene efecto positivo sobre la absorción de nitrógeno o energía. Se encontró, asimismo, que la digestibilidad aparente del nitrógeno aumenta en forma significativa al ascender el nivel en la dieta, y se estabiliza cuando la ingesta excede de 100 mg de nitrógeno/kg/día. Se propone, por consiguiente, que para estudios de digestibilidad en dietas en las que la proteína de origen vegetal se utilice a un nivel de nitrógeno de alrededor de 120 mg/kg/día, la digestibilidad verdadera permanece constante, cualquiera que sea el nivel de nitrógeno en la dieta.

INTRODUCCION

Los cereales constituyen una de las principales fuentes de proteína y energía para buena parte de la población mundial, sobre todo en el grupo de menores ingresos de los países en desarrollo. La evidencia experimental indica que las leguminosas de grano son la fuente de proteína complementaria natural para los cereales (1). En Centro América, los principales cereales consumidos son maíz y arroz, y la principal leguminosa la constituye el frijol común (*Phaseolus vulgaris*). La evidencia experimental también sugiere que cuando los cereales y las leguminosas se consumen en una proporción apropiada, la calidad proteínica de la mezcla es superior que la de los componentes individuales (2). En el caso de mezclas de arroz y frijol, la mejor proporción, por peso, es de 4:1 (3).

Uno de los problemas fundamentales de los frijoles como fuente de proteína suplementaria es su baja digestibilidad (4), la que entre otras causas, ha sido asociada a la presencia de factores antifisiológicos, taninos, y contenido de proteínas y carbohidratos resistentes a la hidrólisis, así como a problemas de su procesa-

miento y almacenamiento. Los resultados notificados sobre digestibilidad de la proteína del frijol son muy variables. En ratas, por ejemplo, Jaffé (5) informa valores de 68.7 a 74.20/o; en niños, se señalan valores de 64.3 a 65.60/o (4). En humanos adultos se han citado valores de 49.6 a 62.10/o (6).

En humanos adultos, Dutra de Oliveira, Vannucchi y Duarte (7) encontraron valores de digestibilidad de nitrógeno de 69.30/o en dietas en las que el arroz y el frijol aportan 660/o de la proteína y 680/o de la energía.

En otro estudio realizado en Brasil (8), también en humanos adultos alimentados con una dieta típica de ese país, con base en arroz y frijoles aportando 500/o de la proteína, se halló un valor de digestibilidad del nitrógeno de 64.70/o. Bressani, Navarrete y Vargas (9) por otra parte, encontraron valores de digestibilidad de sólo 52.50/o para dietas a base de frijol y plátano destinadas al consumo de personas adultas. En niños de 1 a 3 años de edad, alimentados con dietas donde el 950/o de la proteína proviene de frijoles y maíz, se encontró una digestibilidad de nitrógeno de 950/o y de energía, de 880/o (10). En lo referente a dietas a base de arroz y frijol, no se encontró en la literatura datos sobre la digestibilidad de energía.

El objetivo del estudio tema de este artículo, fue evaluar la digestibilidad de la proteína y energía, así como la energía metabolizable de dietas a base de arroz y frijol. Se persiguió, asimismo, medir el efecto que en este sentido tiene la suplementación con energía y con proteínas de origen animal. Además, se estudió el efecto del nivel de proteína de la dieta sobre su digestibilidad aparente y verdadera.

MATERIALES Y METODOS

Sujetos

Participaron voluntariamente en cada estudio, 10 individuos adultos, aparentemente sanos, de sexo masculino y que realizan labores de limpieza y de laboratorio en el INCAP. Ocho de ellos participaron en los cuatro estudios. Cabe señalar que antes de iniciar cada estudio, se practicó a todos los sujetos un examen físico y parasitológico. Durante los estudios todos los sujetos continuaron desarrollando sus actividades de rutina y viviendo en sus propias casas. Las características de edad y talla, así como los

pesos al inicio y final de los diferentes estudios, para cada uno de los individuos, se presentan en la Tabla 1.

Diseño Experimental

En base a hallazgos previos (3), se seleccionó la mezcla en la que el arroz aporta 60% de la proteína total de la dieta, y el frijol 40% de ésta, como preparación base para los estudios de digestibilidad en humanos. Esta mezcla fue evaluada a dos niveles de energía y dos niveles de calidad proteínica, constituyéndose el diseño en un factorial de 2 x 2, en donde los factores fueron:

- A. Para energía, 45 y 50 Kcal/kg/día como energía metabolizable.
- B. Para proteína, los dos niveles de calidad proteínica estuvieron constituidos por:
 - 1. la proteína de la mezcla base, a un nivel de 0.2, 0.4 y 0.6 g/kg/día, en las proporciones señaladas, y
 - 2. por la proteína de esta misma mezcla sustituida en un 100% por proteína de leche.

Así pues, resumiendo, se evaluaron cuatro dietas en cuatro estudios, a saber:

- 1. Mezcla de arroz/frijol 60/40, con 45 Kcal/kg/día.
- 2. Mezcla de arroz/frijol 60/40, con 50 Kcal/kg/día.
- 3. Mezcla de arroz/frijol 60/40, con 100% de sustitución por proteína de leche y 45 Kcal/kg/día.
- 4. Mezcla de arroz/frijol 60/40, con 100% de sustitución por proteína de leche y 50 Kcal/kg/día.

Alimentos e Ingredientes

Como fuentes de proteína para los cuatro estudios, se utilizó frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) de la variedad S-19 N, arroz (*Oryza sativa*) blanco y pulido, y leche descremada en polvo. Algunas de las características químicas de estos productos se detallan en la Tabla 2. La preparación de los alimentos, así como un detalle más pormenorizado de sus características químicas, ya fueron incluidos en un trabajo previo (3).

TABLA 1

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUJETOS QUE PARTICIPARON EN LOS ESTUDIOS

Iniciales del sujeto	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg) ^a							
			Estudio 1		Estudio 2		Estudio 3		Estudio 4	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inical	Final
MR ^b	29	166	61.1	60.6	60.8	60.3	—	—	—	—
RA	30	169	59.1	56.8	56.4	56.4	57.5	56.8	57.5	56.4
LJ	31	158	57.3	57.5	57.2	57.3	57.3	56.4	57.3	56.7
FM	24	157	56.4	55.4	55.9	55.0	57.5	56.1	57.5	55.7
AG	30	169	56.4	56.6	56.5	56.4	57.3	57.3	57.3	57.4
CE	28	166	64.7	65.0	65.6	64.7	64.5	64.5	64.5	64.7
JL ^b	20	172	60.0	59.5	60.9	61.0	—	—	—	—
GP	23	167	58.9	58.6	58.5	59.2	59.1	58.6	59.1	59.0
OB	23	157	57.6	57.7	57.3	57.5	58.5	57.4	58.5	57.6
RC	32	157	49.1	48.4	49.1	48.9	49.1	47.7	49.1	48.6
VR ^c	20	164	—	—	—	—	52.7	52.7	52.7	53.0
OV ^c	25	158	—	—	—	—	57.5	56.7	57.5	57.5
Promedio	26	163	58.1	57.6	57.8	57.7	57.1	56.4	57.1	56.7
DE	4	6	4.0	4.2	4.3	4.2	4.0	4.2	4.0	4.1

^a Para todos los cálculos se utilizó el peso inicial de cada individuo.

^b Los sujetos MR y JL sólo participaron en los estudios 1 y 2.

^c Los sujetos VR y OV sólo participaron en los estudios 3 y 4.

Dietas Experimentales

En la Tabla 3 se expone un ejemplo de la composición de las dietas que recibieron los sujetos durante los cuatro estudios; el consumo de los componentes proteínicos de la dieta (arroz, frijol y leche) se calculó para cada individuo en particular de acuerdo a su peso. Para el ajuste calórico se utilizaron complementos como caramelos, galletas, refrescos de cola (Pepsi-Cola) y de naranja (Tang). Todos los sujetos recibieron diariamente un suplemento de vitaminas y minerales, como se muestra en la Tabla 3. Las características nutricionales de las dietas se detallan en la Tabla 4.

TABLA 2
COMPOSICION DEL ARROZ, FRIJOLES Y LECHE UTILIZADOS
EN LOS CUATRO ESTUDIOS

Alimento	Estudio			
	1	2	3	4
<i>Arroz cocido</i>				
Humedad, g/100 g	67.88	70.46	67.52	68.01
Proteína, g/100 g ^a	2.72	2.49	2.75	2.74
Energía, Kcal/100 g ^b	150.25	139.50	144.28	152.75
<i>Frijol cocido</i>				
Humedad, g/100 g	75.18	76.02	76.53	76.67
Proteína, g/100 g	7.71	7.39	7.21	7.20
Energía, Kcal/100 g	115.07	115.27	112.02	112.33
<i>Leche descremada</i>				
Humedad, g/100 g	3.10	3.10	3.10	3.10
Proteína, g/100 g	33.86	33.86	33.86	33.86
Energía, Kcal/100 g	421.90	421.90	421.90	421.90

^a Nitrógeno x 6.25.

^b Por determinación en bomba calorimétrica. Ballistic Bomb Calorimeter, Gallenkamp and Co. Ltd. London, England.

TABLA 3

CANTIDAD DE ALIMENTO CONSUMIDO POR UN INDIVIDUO (L.J.)
DIARIAMENTE EN CADA ESTUDIO
(Expresada en g)

Alimentos	Estudio			
	1	2	3	4
Leche descremada, deshidratada	—	—	10	10
Arroz cocido	758	828	675	678
Frijol cocido	178	186	172	172
Refresco con sabor a naranja (Tang)				
(ml) ^a	960	1,440	460	1,440
Café (ml) ^b	480	480	480	480
Pan ^c	100	50	50	50
Margarina	40	60	60	50
Aceite vegetal	20	20	20	20
Azúcar	25	25	30	30
Mermelada de piña	30	15	15	15
Manzana	200	200	200	200
Cebolla	10	10	10	10
Galleta ^d	17	17	—	35
Agua (ml)	600	—	240	120
Refresco de cola (Pepsi-Cola) (ml)	—	300	300	300
Caramelo ^e	—	5	10	22
Suplemento de minerales y vitaminas (grageas) ^f	2	2	2	2

a Producto comercial de sabor artificial a naranja y limón. Se preparó utilizando 10g de Tang y 12 de azúcar en 240 ml de agua. Cada 240 ml de fresco contenía 89 Kcal.

b Se utilizó 3g de café soluble en 480 ml de agua caliente.

c Preparado con almidón de trigo libre de proteína (Jolly Joan Ener-G Goods Inc., P.O. Box 24723, Seattle, Wa.).

d Preparado con almidón de trigo, margarina, aceite y azúcar. Cada galleta pesaba 17g y proporcionaba 104 Kcal.

e Caramelos sabor de naranja o limón con un peso promedio de 5g y proporcionaba 22 Kcal.

f La gragea UNICAP- T de Upjohn contenía: vitamina A, 5,000 U.I.; vitamina D, 500 U.I.; tiamina monohidrato, 10 mg; riboflavina, 10 mg; ascorbato de sodio, 300 mg; niacinamida, 20 mg; clorhidrato de pirodoxina, 2 mg; pantotenato de calcio, 20 mg; vitamina B₁₂, 4 mcg; sulfato ferroso, 31 mg; yoduro de potasio, 0.2 mg; carbonato de calcio 125 mg; sulfato de manganeso, 3 mg; sulfato de magnesio, 30 mg y sulfato de potasio, 11 mg. La gragea Ca-C1000 de Sandoz Ltda. contenía: vitamina C, 1,000 mg; gluconato de calcio, 578 mg; lactato de calcio, 422 mg, y carbonato de calcio, 327 mg.

TABLA 4
CARACTERISTICAS DE LAS DIETAS SUMINISTRADAS EN CADA ESTUDIO
(CASO L.J.)

	Estudio			
	1	2	3	4
Consumo de alimento y agua (g)	3,418	3,636	3,232	3,632
Consumo de alimento y agua (g/kg de peso)	59.7	63.6	56.4	63.2
Proteína total (g) ^a	37.0	36.3	38.4	36.4
Proteína de leche (g)	—	—	3.4	3.4
Proteína de arroz (g)	20.6	20.6	18.6	18.6
Proteína de frijol (g)	13.8	13.7	12.4	12.4
Otras fuentes de proteína (g)	2.6	2.0	4.0	2.0
Calorías totales (Kcal) ^b	2,769	3,187	2,786	3,148
Calorías de leche (Kcal)	—	—	45	45
Calorías de arroz (Kcal)	1,139	1,155	974	1,035
Calorías de frijol (Kcal)	205	215	192	193
Otras fuentes de calorías (Kcal)	1,425	1,817	1,577	1,875
Consumo de energía de proteína (pe o/o) (o/o)	5.7	4.8	5.5	4.6
Densidad calórica de la dieta total (Kcal/g)	0.76	0.84	0.86	0.87
Densidad calórica de la dieta sin el consumo de agua pura (Kcal/g)	0.93	0.84	0.93	0.90

^a Se usó proteína cruda total (N x 6.25) para todos los cálculos.

^b Se usó calorías totales mediante análisis con bomba calorimétrica para todos los cálculos.

Metodología de Evaluación

Cada estudio duró un total de 10 días; durante los primeros tres días, a cada sujeto se le suministró una dieta baja en nitrógeno (15-20 mg de N/kg/día) seguido de un aumento progresivo de la ingesta cada dos días, ascendiendo de 0.2, a 0.4 y a 0.6 g de proteína/kg/día. En el transcurso de cada período de dos días se recolectó heces y orina, usando carmín rojo o carbón animal como marcadores fecales. El nivel de energía se mantuvo constante durante cada estudio.

Análisis Químicos

Las heces y orina fueron homogenizadas y se analizaron alícuotas de este homogenizado para determinar el contenido de nitrógeno por la técnica de macro-Kjeldahl. Para los períodos de 0.6 g de proteína/kg/día, se secaron por liofilización alícuotas de homogenizados de heces y orina, hasta peso constante; el producto seco fue molido y homogenizado y luego se analizó su contenido de energía utilizando la bomba calorimétrica.

Cálculo de la Digestibilidad y Energía Metabolizable

La digestibilidad aparente del nitrógeno se calculó según la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad aparente } \% = \frac{\text{Nitrógeno ingerido} - \text{Nitrógeno fecal}}{\text{Nitrógeno ingerido}} \times 100$$

Para el cálculo de digestibilidad verdadera se asumió una pérdida obligatoria de nitrógeno de 12 mg/kg/día aceptada por el Comité FAO/OMS (11). La digestibilidad de energía se calculó utilizando el mismo criterio que el aplicado para la digestibilidad aparente de nitrógeno. La energía metabolizable se calculó como sigue:

$$\text{Energía metabolizable } \% = \frac{\text{Energía ingerida} - \text{Energía en heces} - \text{Energía en orina}}{\text{Energía ingerida}} \times 100$$

RESULTADOS

Los resultados individuales del consumo y digestibilidad de nitrógeno y energía, así como de energía metabolizable de los individuos cuya dieta contenía 0.6 g de proteína/kg/día se dan a conocer en las Tablas 5, 6, 7 y 8. En todos los casos, el consumo de nitrógeno fue ligeramente superior al previsto (96 mg/kg/día), debido al pequeño aporte de la dieta basal. Este aumento fluctuó entre 4 y 9 mg/kg/día. Cabe señalar que, en promedio, en tres de los cuatro estudios los sujetos permanecieron en balance positivo de nitrógeno; solamente en el Estudio 1 estuvieron en balance ligeramente negativo.⁵

En forma similar, el consumo de energía bruta superó al contemplado en cada uno de los estudios, en un rango de 5.4 a 10.0%. Sin embargo, al corregir por energía metabolizable, las ingestas resultaron ser de 45.9, 51.2, 45.2 y 48.9 Kcal/kg/día en los Estudios 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

En relación a la digestibilidad del nitrógeno de las dietas a base de arroz y frijol, no se encontró ningún efecto significativo ($P < 0.05$) de la suplementación con proteína animal o energía. No obstante, en los casos en que se sustituyó 100% de la proteína del arroz y frijol por proteína de leche (Estudios 3 y 4), la digestibilidad de la proteína fue 9% más alta. Los hallazgos indican que la suplementación calórica no tuvo efecto alguno sobre la digestibilidad del nitrógeno. Al comparar los resultados de digestibilidad aparente y verdadera, se observa que, en todos los casos, ésta es alrededor de 12 unidades porcentuales superior.

La digestibilidad de la energía no se vio afectada en forma significativa por la suplementación proteínica o calórica ($P < 0.05$). Los valores promedio extremos fueron de 93.5 y 94.2% en los Estudios 3 y 4, respectivamente, con un promedio general de 93.9%. La energía metabolizable tampoco sufrió cambios por efecto de la suplementación proteínica o calórica de las dietas, encontrándose un promedio de 92.6% de energía metabolizable para el tipo de dietas investigadas en nuestro estudio.

En la Tabla 9 y en la Figura 1 se ilustran el efecto del nivel de nitrógeno en la dieta sobre la digestibilidad aparente y verdadera de nitrógeno. Tal como se observa en la Tabla, la digestibilidad aparente aumentó en todos los casos, al subir el nivel de nitrógeno

5 Vargas, E. *et al.* Inédito.

TABLA 5

CONSUMO DE NITROGENO Y ENERGIA Y DIGESTIBILIDAD DE NITROGENO, ENERGIA Y
ENERGIA METABOLIZABLE EN HOMBRES ADULTOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA
DE ARROZ Y FRIJOL CON 45 Kcal/kg/día
(ESTUDIO 1)

Inicial del sujeto	Consumo de nitrógeno (mg/kg/día)	Consumo de energía (Kcal/kg/día)	Digestibilidad del nitrógeno, %		Digestibilidad de energía (%)	Energía metabolizable ^b (%)
			Aparente	Verdadera ^a		
MR	102.9	48.9	46.8	58.5	93.5	91.8
RA	103.9	48.3	65.1	76.6	94.0	92.8
LJ	103.4	48.3	61.3	72.9	93.6	91.7
FM	103.5	48.1	51.7	63.3	91.9	90.5
AG	103.5	48.3	55.9	67.5	93.7	92.3
CE	100.9	52.7	70.0	81.9	95.4	94.2
JL	101.2	51.0	58.5	70.4	95.2	93.6
GP	101.4	49.8	52.1	63.9	92.1	90.8
OB	101.5	49.7	65.1	77.0	94.7	93.9
RC	102.5	50.2	64.6	76.3	94.4	93.3
Promedio	102.5	49.5	59.1	70.8	93.8	92.5
DE	1.1	1.5	7.4	7.4	1.2	1.3

^a Digestibilidad verdadera asumiendo pérdidas obligatorias de nitrógeno de 12.0 mg/kg/día.

^b Energía metabolizable = $\frac{\text{Consumo de energía bruta total} - \text{Energía en heces} - \text{Energía en orina}}{\text{Consumo de energía bruta total}} \times 100$

TABLA 6
CONSUMO DE NITROGENO Y ENERGIA Y DIGESTIBILIDAD DE NITROGENO, ENERGIA Y ENERGIA
METABOLIZABLE EN HOMBRES ADULTOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA A BASE
DE ARROZ Y FRIJOL CON 50 Kcal/kg/día
(ESTUDIO 2)

Inicial del sujeto	Consumo de nitrógeno (mg/kg/día)	Consumo de energía (Kcal/kg/día)	Digestibilidad del nitrógeno, o/o		Digestibilidad de energía (o/o)	Energía metabolizable ^b (o/o)
			Aparente	Verdadera ^a		
MR	101.3	56.1	54.9	66.7	95.0	93.5
RA	101.5	58.5	50.4	62.3	94.2	93.2
LJ	101.6	55.7	66.6	78.4	93.3	92.0
FM	101.7	56.2	54.7	66.5	91.0	90.3
AG	101.7	55.6	52.6	64.4	95.6	95.0
CE	102.6	53.7	66.0	77.7	94.8	93.9
JL ^a	102.4	54.0	59.6	71.3	93.2	93.2
GP	103.3	53.2	63.5	75.1	95.1	93.9
OB	103.4	53.8	62.7	74.3	94.4	93.2
RC	104.6	53.4	64.9	76.4	97.7	93.6
Promedio	102.4	55.0	59.6	71.3	94.2	93.2
DE	1.1	1.7	6.4	5.9	1.4	1.3

^a Datos estimados para este individuo.

^{b, c} Véase Tabla 5.

TABLA 7

CONSUMO DE NITROGENO Y ENERGIA Y DIGESTIBILIDAD DE NITROGENO, ENERGIA Y ENERGIA METABOLIZABLE EN HOMBRES ADULTOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA A BASE DE ARROZ Y FRIJOL CON 45 Kcal/kg/día, MAS UN COMPLEMENTO DE PROTEINA DE LECHE (ESTUDIO 3)

Inicial del sujeto	Consumo de nitrógeno (mg/kg/día)	Consumo de energía (Kcal/kg/día) ¹	Digestibilidad del nitrógeno, 0/0		Digestibilidad de energía (0/0)	Energía metabolizable ^a (0/0)
			Aparente	Verdadera ^a		
GP	106.8	48.9	54.1	65.4	89.9	88.7
OB	106.9	48.8	69.1	80.4	94.6	93.6
FM	107.1	48.9	63.3	74.5	93.0	91.6
LJ	107.1	48.6	66.3	77.5	93.5	91.7
VR	108.1	48.5	77.4	88.5	96.7	95.3
CE	101.1	49.3	71.2	83.1	94.7	93.3
OV	101.7	49.3	53.2	65.0	91.8	90.6
RA	101.7	49.3	69.1	80.9	93.9	92.5
AG	101.7	49.4	60.5	72.3	94.0	92.5
RC	102.7	48.9	68.5	80.2	93.0	91.7
Promedio	104.5	49.0	65.3	76.8	93.5	92.1
DE	2.9	0.3	7.6	7.6	1.8	1.8

^a Véase Tabla 5.

TABLA 8

CONSUMO DE NITROGENO Y ENERGIA Y DIGESTIBILIDAD DE NITROGENO, ENERGIA Y ENERGIA METABOLIZABLE EN HOMBRES ADULTOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA A BASE DE ARROZ Y FRIJOL CON 50 Kcal/kg/día, MAS UN COMPLEMENTO DE PROTEINA DE LECHE (ESTUDIO 4)

Inicial del sujeto	Consumo de nitrógeno (mg/kg/día)	Consumo de energía (Kcal/kg/día)	Digestibilidad del nitrógeno, o/o		Digestibilidad de energía (o/o)	Energía metabolizable ^a (o/o)
			Aparente	Verdadera ^a		
GP	101.5	54.6	53.1	64.9	97.4	95.9
OB	101.5	54.6	60.4	72.2	93.8	92.5
FM	101.6	54.8	64.3	76.1	92.9	91.6
LJ	101.6	54.9	70.7	82.5	95.2	94.0
VR	102.1	54.5	54.1	65.8	93.5	92.2
CE	105.9	50.4	86.5	97.8	97.6	96.1
OV	107.1	50.6	53.0	64.2	90.3	89.0
RA	107.1	50.6	66.5	77.8	93.1	91.7
AG	107.1	50.8	68.3	79.5	93.9	92.5
RC	109.0	50.7	69.2	81.6	94.4	93.0
Promedio	104.4	52.7	64.6	76.2	94.2	92.8
DE	3.0	2.1	10.3	10.2	2.2	2.1

^a Véase Tabla 5.

TABLA 8

CONSUMO DE NITROGENO Y ENERGIA Y DIGESTIBILIDAD DE NITROGENO, ENERGIA Y ENERGIA METABOLIZABLE EN HOMBRES ADULTOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA A BASE DE ARROZ Y FRIJOL CON 50 Kcal/kg/día, MAS UN COMPLEMENTO DE PROTEINA DE LECHE (ESTUDIO 4)

Inicial del sujeto	Consumo de nitrógeno (mg/kg/día)	Consumo de energía (Kcal/kg/día)	Digestibilidad del nitrógeno, o/o		Digestibilidad de energía (o/o)	Energía metabolizable ^a (o/o)
			Aparente	Verdadera ^a		
GP	101.5	54.6	53.1	64.9	97.4	95.9
OB	101.5	54.6	60.4	72.2	93.8	92.5
FM	101.6	54.8	64.3	76.1	92.9	91.6
LJ	101.6	54.9	70.7	82.5	95.2	94.0
VR	102.1	54.5	54.1	65.8	93.5	92.2
CE	105.9	50.4	86.5	97.8	97.6	96.1
OV	107.1	50.6	53.0	64.2	90.3	89.0
RA	107.1	50.6	66.5	77.8	93.1	91.7
AG	107.1	50.8	68.3	79.5	93.9	92.5
RC	109.0	50.7	69.2	81.6	94.4	93.0
Promedio	104.4	52.7	64.6	76.2	94.2	92.8
DE	3.0	2.1	10.3	10.2	2.2	2.1

^a Véase Tabla 5.

TABLA 9
VALORES MEDIOS DE DIGESTIBILIDAD APARENTE Y VERDADERA DETERMINADA CON
DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO EN DIETAS A BASE DE ARROZ Y FRIJOL
(Expresados en términos de porcentaje)

	Estudio			
	1	2	3	4
<i>Nitrógeno ingerido (mg/kg/día)</i>	44.3 ± 1.4	44.4 ± 1.2	47.7 ± 6.0	47.7 ± 6.2
Digestibilidad aparente	40.0 ± 9.4 ^a	39.3 ± 11.5 ^a	52.4 ± 11.7 ^a	48.7 ± 18.7 ^a
Digestibilidad verdadera	67.2 ± 9.2	66.3 ± 11.6	77.2 ± 11.3	74.2 ± 17.1
<i>Nitrógeno ingerido (mg/kg/día)</i>	71.9 ± 1.1	72.2 ± 1.0	72.6 ± 0.8	72.6 ± 0.8
Digestibilidad aparente	49.8 ± 12.2 ^{ab}	53.8 ± 5.0 ^a	61.3 ± 10.5 ^{ab}	51.7 ± 15.1 ^{ab}
Digestibilidad verdadera	65.6 ± 14.2	65.2 ± 17.1	77.9 ± 10.5	68.2 ± 15.0
<i>Nitrógeno ingerido (mg/kg/día)</i>	102.5 ± 1.2	102.4 ± 1.1	104.5 ± 2.9	104.5 ± 3.0
Digestibilidad aparente	59.1 ± 7.4 ^b	59.6 ± 6.4 ^b	65.3 ± 7.6 ^b	64.6 ± 10.3 ^b
Digestibilidad verdadera	70.8 ± 7.4	71.3 ± 6.3	76.8 ± 7.6	76.3 ± 10.2

a,b Los promedios en una columna, identificados con letras distintas, son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

en la dieta, observándose en los cuatro estudios, que dicho valor fue significativamente mayor cuando el nivel de ingesta era de 0.6 g de proteína por kg/día en relación a la ingesta de 0.2 g/kg/día. En contraste, la digestibilidad verdadera permaneció constante en los cuatro estudios para los tres niveles de nitrógeno sometidos a prueba, con valores de 72.6, 72.5, y 74.30/o, en ese orden.

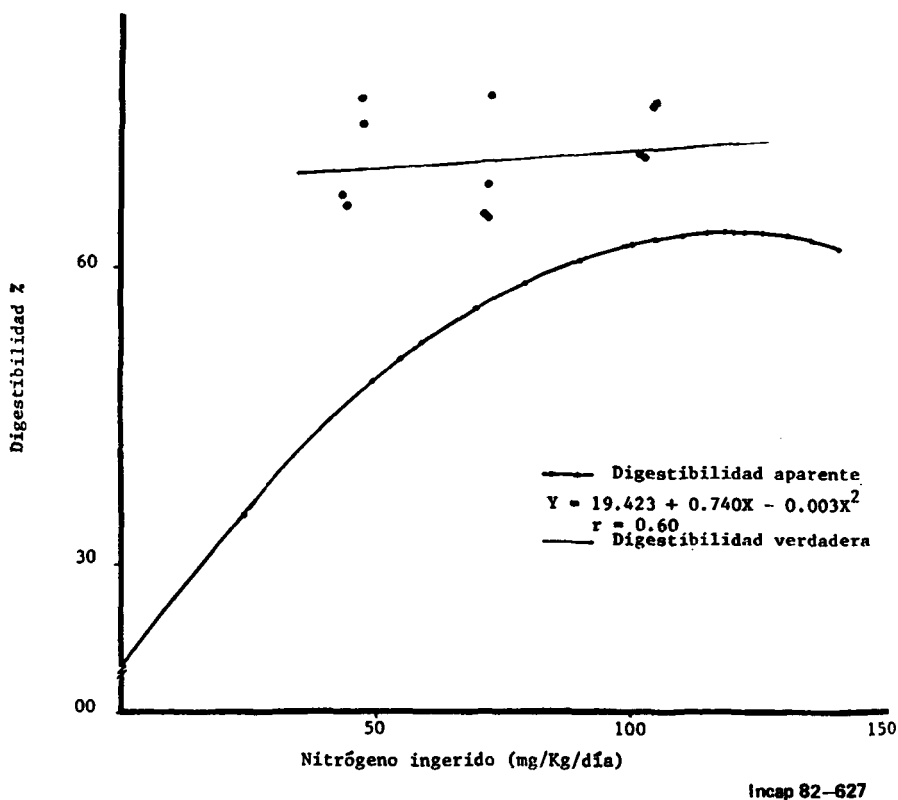


FIGURA 1

Digestibilidad del nitrógeno aparente y verdadera, determinada a diferentes niveles de ingesta de nitrógeno en dietas a base de arroz y frijol

DISCUSION

Los datos de los estudios de que aquí se da cuenta, confirman los hallazgos de otros investigadores (7-9, 12) en el sentido de que las dietas

de origen vegetal, en especial cuando contienen leguminosas, presentan una digestibilidad de nitrógeno muy baja, del orden de 50 a 700/o. Los datos indican que la digestibilidad del nitrógeno de la mezcla de arroz/frijol estudiada, sin suplementar, es de un 59.10/o, y que mejora hasta un 65.30/o cuando se sustituye 100/o de proteína vegetal por proteína de leche. El hecho de que una pequeña suplementación con proteína animal mejore la digestibilidad de toda la dieta es un aspecto muy importante, que merece más estudio. La mejor utilización del nitrógeno a nivel digestivo observada en el presente caso, no es causada solamente por una mejor absorción del nitrógeno proveniente de la proteína de leche, sino que ocurre un verdadero efecto sinérgico a nivel digestivo entre la proteína vegetal y la de origen animal, como lo demuestra el hecho de que —si se asume que la proteína de la leche es absorbida en un 1000/o— la digestibilidad de la proteína total de la dieta en el Estudio 3 sería de solamente 63.00/o, cuando en realidad este valor fue de 65.3. Este efecto sinérgico probablemente explique los resultados obtenidos por Dutra de Oliveira, Vannucchi y Duarte (7) en humanos adultos, de 69.30/o de digestibilidad aparente de nitrógeno, para una dieta en la que el arroz y el frijol aportaban el 660/o de la proteína mientras que el 440/o provenía de carne, huevos y algunas legumbres. En el caso de dietas a base de frijol y plátano, la digestibilidad de nitrógeno fue de sólo 52.50/o (9).

Esta baja digestibilidad del nitrógeno constituye uno de los principales factores que limitan la utilización de la proteína de dietas de origen vegetal, en particular las que incluyen el componente leguminosa. No se conocen a fondo las causas de esta baja absorción de nitrógeno. Así, Bressani y Elías (4) sugieren que algunas de las causas podrían ser inherentes al alimento, la presencia de factores antinutricionales tales como inhibidores de tripsina y amilasa, saponinas y compuestos fenólicos, por ejemplo; señalan, además, la contribución de factores externos tales como procesamiento y almacenamiento, entre los que destaca el tipo y forma de tratamiento térmico aplicado, así como el tiempo y forma de almacenamiento. Otra posible explicación la constituye el alto contenido de fibra dietética en las dietas de origen vegetal, lo cual disminuye en forma significativa la absorción de nutrientes (12, 13).

Al evaluar el efecto de la suplementación calórica sobre la digestibilidad de nitrógeno, se encontró que, para los niveles de energía aquí estudiados, ésta no tiene ningún efecto positivo.

Torún y Viteri (10), en un estudio en niños preescolares, alimentados con una dieta a base de frijol y maíz a un nivel de ingesta proteínica de 1.73 g/kg/día, encontraron digestibilidades aparentes de nitrógeno de 56, 59 y 620/o, con ingestas de energía bruta de 99, 91 y 81 Kcal/kg/día. Los valores no difieren significativamente ($P < 0.05$). La digestibilidad verdadera fue 70/o superior a la digestibilidad aparente del nitrógeno.

En relación a la digestibilidad de la energía, se encontró que ésta no es afectada por la suplementación proteínica o calórica. El valor promedio encontrado en los cuatro estudios fue de 93.90/o. De manera similar, en el estudio de Torún y Viteri ya mencionado (10), se investigó la relación entre el nivel de energía y su digestibilidad, encontrando valores de 91, 80 y 850/o para ingestas de energía bruta de 99, 91 y 81 Kcal/kg/día. Las medias no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Por otra parte, Calloway y Kretsch (12) en su estudio con hombres norteamericanos de una dieta típica de la clase de menor ingreso de Guatemala, constituida por frijol, maíz, arroz, pan y pequeñas cantidades de legumbres y productos de origen animal, encontraron una digestibilidad de energía de 890/o, en comparación con 970/o para la dieta control, a base de huevo.

La energía metabolizable tampoco fue afectada por la suplementación con proteína animal o energía, arrojando valores de 92.5, 93.2, 92.1 y 92.80/o en los cuatro estudios. Estos valores son, en promedio, 1.40/o inferiores a los valores correspondientes de energía digerible. Calloway y Kretsch (12) indican, asimismo, que en la estimación de la energía metabolizable de dietas de origen vegetal, utilizando los factores de Atwater (14), se sobrestima su valor calórico en forma significativa, en comparación al valor experimental.

La digestibilidad aparente de nitrógeno a diferentes niveles de ingesta, aumenta a medida que se incrementa el nivel de nitrógeno en la dieta, hasta alcanzar un valor a partir del cual se mantiene constante o aumenta muy lentamente. Este efecto ha sido notificado previamente en estudios en perros (4), y en el hombre (15). Al evaluar los resultados de los cuatro estudios que nos ocupan (Figura 1), se encontró que el rango de ingesta en el que la digestibilidad aparente se mantiene constante, con valores máximos que no difieren entre sí, oscila entre 100 y 140 mg de nitrógeno por kg de peso corporal por día; según la ecuación de predicción de la Figura 1, y que corresponde a digestibilidades, es de 62.5 a 62.30/o, respectivamente. Según la misma ecuación,

el valor máximo de digestibilidad correspondería a 63.70/o, cuando la ingesta de nitrógeno es de 119.5 mg/kg/día. Fajardo *et al.* (15) en un estudio con hombres adultos de una dieta colombiana de origen vegetal —utilizando niveles de ingesta de nitrógeno de 70.7, 90.8, 109.1, 125.3, 140.5 y 158.8 mg/kg/día— encontraron digestibilidades aparentes de nitrógeno de 62.0, 63.8, 68.5, 73.0, 69.8 y 73.10/o, respectivamente. Como lo revelan los datos, a partir del nivel de 109.1 mg/kg/día, la digestibilidad del nitrógeno permanece casi constante.

Aparentemente, la información aquí descrita indica que en el caso de dietas de origen vegetal, cuando la ingesta de nitrógeno excede 100 mg/kg/día, se estabiliza en digestibilidad “aparente”, por lo que se propone que en este tipo de estudios se utilice un nivel de ingesta de alrededor de 120 mg de nitrógeno por kg/día.

En relación a la digestibilidad “verdadera”, al igual que lo informado por otros investigadores (15), ésta permanece constante, sin importar el nivel de nitrógeno utilizado. Este hecho se debe fundamentalmente a un efecto aritmético de cálculo. Cuando la ingesta de nitrógeno es muy baja, el sumarle los 12 mg/kg de nitrógeno endógeno fecal —cifra que generalmente se utiliza para estos cálculos (11)— “pesa” mucho en el denominador, por lo que aumenta el resultado. Tal como se indica en la Figura 1, la digestibilidad “verdadera” siempre será mayor que la digestibilidad “aparente”, aun cuando esta última se haya estabilizado. En el presente caso, la digestibilidad “verdadera” fue superior en cerca de 11.7 unidades porcentuales, que equivalen a un 18.80/o, cuando la digestibilidad “aparente” es estable. La interrogante que permanece sin respuesta, es ¿cuál de las dos formas de calcular la digestibilidad del nitrógeno, estima mejor la “verdadera” digestibilidad del nitrógeno de una dieta?

SUMMARY

PROTEIN AND ENERGY DIGESTIBILITY OF DIETS BASED ON RICE AND BEANS IN HUMAN ADULTS

Four studies were carried out for the purpose of measuring the digestibility of diets based on rice and beans (*Phaseolus vulgaris*), and in order to quantify the effect of their supplementation with animal protein (milk) and energy (oil), on the energy and protein digestibility of such diets in human adults. Diets were offered so that they supplied 46, 72, and 103 mg N/kg/

day. When the basal diet —where rice provided 60% of the protein and beans 40%— was administered at a level of 102.5 mg of nitrogen/kg/day and 49.5 Kcal/kg/day of gross energy, an apparent and true nitrogen, energy and metabolizable energy digestibility of 59.1, 70.8, 93.8 and 92.5%, respectively, were observed. When substituting 10% of the vegetable protein by milk protein in the same diet, the same indicators revealed a digestibility of 65.3, 76.8, 93.5 and 92.1%, respectively. The information indicates that supplementation with animal protein improves nitrogen absorption at any of the energy levels studied. In contrast, caloric supplementation does not have any positive effect on nitrogen or energy absorption. It was also found that nitrogen apparent digestibility increases significantly when the N level in the diet is raised, and stabilizes when intake exceeds 100 mg nitrogen/kg/day. It is therefore proposed that for digestibility studies in diets where animal protein is utilized at a nitrogen level of around 120 mg/kg/day, true digestibility remains constant, no matter what nitrogen level is used in the diet.

BIBLIOGRAFIA

1. Bressani, R. & L. G. Elías. Legume foods. En: **New Protein Foods**. A. M. Altschul (Ed.). Vol. 1. **Technology**, Chapter 5. New York, N. Y., Academic Press, Inc., 1974, p. 230-297.
2. Bressani, R. El sistema alimentario cereal-leguminosa de grano. **Inter ciencia**, 4: 253-259, 1979.
3. Vargas, E., R. Bressani, L. G. Elías & J. E. Braham. Complementación y suplementación de mezclas vegetales a base de arroz y frijol. **Arch. Latinoamer. Nutr.**, 32: 579-600, 1982.
4. Bressani, R. & L. G. Elías. The problem of legume protein digestibility. En: **Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders**. J. H. Hulse, K. O. Rochie and L. W. Billingsley (Eds.). Ottawa, Canada, International Development Research Centre, 1977, p. 61-72 (Publication No. IDRC-TS7e).
5. Jaffé, W. G. El valor biológico comparativo de algunas leguminosas de importancia en la alimentación venezolana. **Arch. Venezol. Nutr.**, 1: 107-120, 1950.
6. Hernández, E. M. Tesis *Magister Scientifcae* en Ciencias y Tecnología de Alimentos. **Significado de la Presencia de Taninos y Polifenoles Asociados a la Digestibilidad de las Proteínas del Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Humanos**. Centro de Estudios Superiores en Nutrición y Ciencias de Alimentos (CESNA), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia/INCAP. Guatemala, C. A., enero de 1980, 118 p.

7. Dutra de Oliveira, J. E., H. Vannucchi & R. M. F. Duarte. Evaluation of the nutritive value of a rice- and bean-based diet for agricultural migrant workers in Brazil. En: **Protein-Energy Requirements of Developing Countries: Evaluation of New Data**. B. Torún, V. R. Young and W. M. Rand (Eds.). Tokyo, Japan, United Nations University Press, 1981, p. 98-102 (Food and Nutrition Bulletin Supplement 5. WHTR-4/UNUP-295).
8. Humerez, D. Carvalho de & J. E. Dutra de Oliveira. Balanço nitrogenado en pessoas adultas e estudo experimental em ratos alimentados con arroz, feijão e farinha de mandioca suplementada com proteínas. **Arch. Latinoamer. Nutr.**, **27**: 529-541, 1977.
9. Bressani, R., D. A. Navarrete & E. Vargas. Protein needs of young adult men fed common beans (*Phaseolus vulgaris*) in combination with starch, plantain, maize or rice. En: **Protein-Energy Requirements of Developing Countries: Evaluation of New Data**. B. Torún, V. R. Young and W. M. Rand (Eds.). Tokyo, Japan, United Nations University Press, 1981, p. 108-114 (Food and Nutrition Bulletin Supplement 5. WHTR-4/UNUP-295).
10. Torún, B. & F. E. Viteri. Energy requirements of pre-school children and effects of varying energy intakes on protein metabolism. En: **Protein-Energy Requirements of Developing Countries: Evaluation of New Data**. B. Torún, V. R. Young and W. M. Rand (Eds.). Tokyo, Japan, United Nations University Press, 1981, p. 229-241 (Food and Nutrition Bulletin Supplement 5. WHTR-4/UNUP-295).
11. Protein and energy requirements. A Joint FAO/WHO Memorandum. **Bull. Wld Health Org.**, **57**: 65, 1979.
12. Calloway, D. H. & M. S. Kretsch. Protein and energy utilization in men given a rural Guatemalan diet and egg formulas with and without added oat bran. **Am. J. Clin. Nutr.**, **31**: 1118-1126, 1978.
13. Helsay, J. L., Behall, K. M. & E. S. Prather. Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. I. Bowel transit time, number of defecations, fecal weight, urinary excretions of energy and nitrogen and apparent digestibilities of energy, nitrogen and fat. **Am. J. Clin. Nutr.**, **31**: 1149-1153, 1978.
14. Merrill, A. L. & B. K. Watt. **Energy Value of Foods..... Basis and Derivation**. Washington, D. C., Agr. Handbook No. 74, ARS/USDA, 1955.
15. Fajardo, L., F. Bolaños, G. Acciarri, F. Victoria, J. Restrepo, A. B. Ramírez & L. M. Angel. Protein requirements for young Colombian adults consuming local diets containing primarily animal or vegetable protein. En: **Protein-Energy Requirements of Developing Countries: Evaluation of New Data**. B. Torún, V. R. Young and W. M. Rand (Eds.). Tokyo, Japan, United Nations University Press, 1981, p. 54-62 (Food and Nutrition Bulletin, Supplement 5. WHTR-4/UNUP-295).