

Aminoácidos esenciales y no esenciales de harinas de cereales infantiles en distintas fases de procesamiento industrial y su relación con índices químicos de la calidad proteica

Darío Pérez Conesa, Gaspar Ros Berrueto, María Jesús Periago Castón

Facultad de Veterinaria-Universidad de Murcia. Campus de Espinardo. Murcia, España

RESUMEN. Se ha estudiado el efecto del procesamiento tecnológico sobre el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales en cereales infantiles, la adecuación de la proteína y de los aminoácidos esenciales a las recomendaciones dietéticas infantiles, así como su calidad proteica mediante el uso de índices químicos. Se evaluaron la harina cruda, harina tostada, film y papilla de cuatro tipos de cereales infantiles: "Multicereales" y "Trigo" (ambos con gluten), "Crecimiento" y "Arroz y zanahoria" (añambos sin gluten). El tratamiento tecnológico sólo afecta de forma significativa al contenido de los aminoácidos lisina, arginina ($P<0,05$) y valina ($P<0,01$) en "Arroz y zanahoria". La proteína de cualquiera de las papillas estudiadas cubre los requerimientos del niño hasta los 3 años edad en un 17,4%, mientras que los aminoácidos esenciales entre un 25 y un 200%. Como era previsible, el aminoácido limitante fue la lisina en todas las harinas. Los índices químicos sólo se vieron afectados por el tratamiento tecnológico en el cereal "Arroz y zanahoria", mostrando los cereales sin gluten valores superiores (36,7-69,5%) a los cereales con gluten (18,1%-30,7%) al final del tratamiento. Destacando la harina "Crecimiento", por su mayor contenido en lisina respecto a los otros cereales infantiles debido a los ingredientes mayoritarios arroz y maíz.

Palabras clave: Cereales infantiles, aminoácidos esenciales y no esenciales, digestibilidad in vitro de la proteína, índice químico, índice químico corregido mediante la digestibilidad de la proteína.

SUMMARY. Essential and non-essential amino acid content of infant cereals in different stages of industrial processing and its relationship with chemical scores of protein quality. The effect of technological process on essential and non essential amino acid contents in infant cereals, the protein and essential amino acids infant dietary requirements cover by infant cereals, and its quality using some chemical scores has been studied. Mix of raw flours, mix of roasted flours, mix of enzymatically, hydrolysed and drum dried flours and commercial infant cereals of four different types of infant cereals: "Multicereal" and "Wheat" (both with gluten), "Growth" and "Rice and carrot" (both gluten free) were evaluated. The technological process only show a significant effect on lysine, arginine ($P<0,05$) and valine ($P<0,01$) contents in "Rice and carrot" infant cereal. Protein of any studied infant cereals covers 17,4% of the daily infant requirements in, while for essential amino acids will cover about 25 to 200% until the third year of life. As we expected, the limitant amino acid was lysine in all flours. Chemical scores only were affected by technological treatment in "Rice and carrot" infant cereal, showing the gluten-free infant cereals higher values (36,7-69,5%) than gluten infant cereals (18,1%-30,7%) at the end of the processing. It should be standing out "Growth" infant cereal, because of it has a higher lysine content than other infant cereals due to the main ingredients rice and corn.

Key words: Infant cereals, essential and non-essential amino acids, in vitro protein digestibility, chemical score, protein digestibility-corrected amino acid scoring.

INTRODUCCION

La infancia constituye un periodo de vida con una gran demanda nutricional, pues el peso corporal del niño se duplica entre el 4° y el 6° mes de vida, y se triplica al finalizar el año (1). En esta etapa, los cereales son los alimentos habitualmente recomendados para iniciar la alimentación complementaria (2), suministrados de forma habitual como harinas, vehiculados generalmente en leche de vaca, fórmula, agua o caldo, y adicionados con algo de azúcar (3). Normalmente, los cereales de los preparados comerciales infantiles se hallan previamente tratados con objeto de facilitar su digestión y su dilución. Desde el punto de vista

nutricional, el contenido y la composición proteica de la harina de cereales son los principales determinantes de su calidad (4,5). Las cantidades de aminoácidos esenciales presentes en los cereales infantiles, tales como lisina (Lys), triptófano (Trp) y Treonina (Thr), son las que limitan el valor biológico de las proteínas de los cereales (6), así como su biodisponibilidad en el organismo (7). No sólo es importante la fuente proteica, sino también lo es el procesado y la interacción de estos aminoácidos con otros componentes de la dieta (8). En concreto, a las harinas de cereales infantiles se les somete a la acción del calor (obteniendo harinas dextrinadas), y otras a la acción de diversas enzimas (harinas malteadas). Como ejemplo del primero tenemos el tostado

(tratamiento por aire caliente estático), proceso que utiliza alta temperatura (>100°C) en un tiempo corto (1,5-2,5 min.), empleado para inactivar el crecimiento de microorganismos contaminantes (9), aunque también altera la naturaleza de muchos de los constituyentes, cambiando sus propiedades físico-químicas y nutricionales, tal y como es la biodisponibilidad de las proteínas, hidratos de carbono, lípidos y vitaminas. No existen referencias bibliográficas sobre el efecto del tratamiento enzimático en estas harinas, aunque es presumible que el efecto sea aún mayor que el tostado. Por todo esto, el objetivo del presente estudio ha sido conocer el efecto que ejerce el procesado tecnológico sobre la calidad nutricional de los aminoácidos de los cereales infantiles, sobre la calidad de la proteína evaluada mediante índices químicos, y finalmente estimar los requerimientos que realmente serían cubiertos por estos alimentos en el primer año de vida.

MATERIAL Y METODOS

Se utilizaron cuatro tipos de cereales infantiles no lacteados, preparados experimentalmente por Hero España S.A. (Alcantarilla, España), y denominados “Multicereales” y “Trigo” (ambos con gluten de forma natural en su composición), y “Crecimiento” y “Arroz y zanahoria” (sin gluten). Para los primeros se recomienda su incorporación en alimentación infantil a partir del 4º mes de edad, y para los segundos, a partir del 6º mes. La Tabla 1 muestra los ingredientes utilizados para la fabricación de cada uno de ellos. La Figura 1 presenta el diagrama de fabricación, en el que se señalan las cuatro fases: mezcla de las harinas (harina cruda), tratamiento térmico de tostado (harina tostada), secado en rodillo (film) (éstas dos últimas a una temperatura superior a 100°C) y obtención del producto final (papilla) que fueron muestreadas para la realización del estudio. Las muestras fueron recogidas directamente en fábrica durante el proceso de elaboración de los cereales infantiles. Posteriormente fueron almacenados a temperatura ambiente, en recipientes de plástico herméticamente cerrados y aislados de la humedad exterior, listas de este modo para su posterior análisis de forma directa (sin adicionar leche a la fase de papilla comercial).

Métodos analíticos

El perfil de aminoácidos totales fue determinado mediante el analizador de aminoácidos LKB Alpha Plus (Pharmacia LKB Biochrom Ltd., Cambridge, Inglaterra) siguiendo la técnica descrita por Moore y Stein (10) tras una hidrólisis con HCl 6N a 110°C durante 24 horas en tubos sellados al vacío. Una solución standard de aminoácidos (ref. A-9656, Sigma) fue usada como referencia para calibrar el analizador. Para la determinación del Trp se realizó una hidrólisis básica seguida de cuantificación colorimétrica (11). La recta patrón de referencia se preparó a partir de una solución standard de

Trp (10 µg/ml) (Sigma), con distintas concentraciones (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 µg Trp/ml), usando la siguiente ecuación de regresión: $Y = 2,3294 \cdot 10^{-3} + 1,3385 X$, donde Y es la concentración de Trp (µg/ml), y X la absorbancia. La digestibilidad in vitro de la proteína (DIVP) se determinó según el procedimiento descrito por Satterlee y col. (12). La muestra fue sometida a una doble digestión enzimática. La primera a 37°C durante 10 min. con una solución enzimática a base de tripsina pancreática porcina (17,46 mg/10 ml) (ref. T-0134, Sigma), quimotripsina pancreática bovina (46,5 mg/10 ml) (ref. C-4129, Sigma) y peptidasa intestinal porcina (10,40 mg/10 ml) (ref. P-7500, Sigma). La segunda a 55°C durante 9 min. con pronasa bacteriana «P» (16,25 mg/10 ml) (ref. P-5147, Sigma). La DIVP se valoró en función de la variación del pH de las muestras medido a 37°C, 1 min. después de la segunda digestión enzimática. Este mismo proceso fue realizado con un patrón de caseína (Sigma), con la que se obtiene un pH final de referencia de 6,42±0,05. Finalmente, el porcentaje de DIVP se obtiene aplicando la ecuación: $DIVP(\%) = 234,84 - 22,56X$

$DIVP(\%) = 234,84 - 22,56X$

Donde X es el pH medido a los 20 min. de finalizar la digestión enzimática.

FIGURA 1
Diagrama de flujo de la fabricación de los cereales infantiles

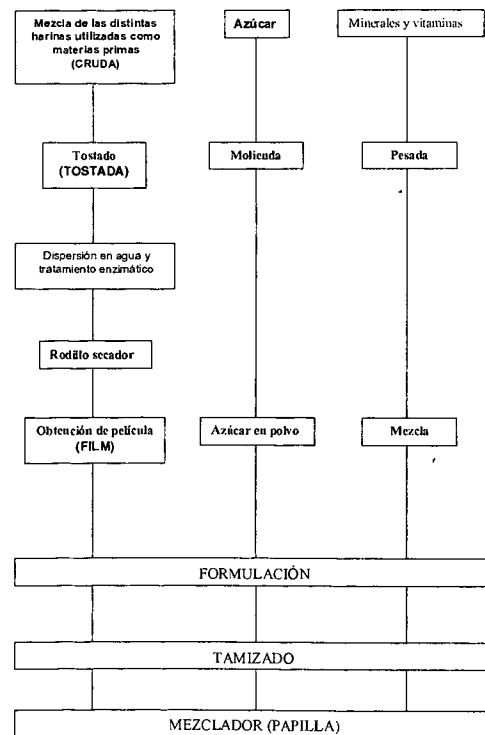


TABLA 1
Ingredientes de los cereales infantiles evaluados en el presente estudio

Ingredientes	Cereales infantiles			
	Con gluten	Sin gluten		
	Multicereales	Trigo	Crecimiento	Arroz y zanahoria
Cereales				
Trigo	+ ¹	+	- ²	-
Mijo	+	-	-	-
Cebada	+	-	-	-
Centeno	+	-	-	-
Sorgo	+	-	-	-
Arroz	+	-	+	+
Avena	+	-	-	-
Mafz	+	-	+	+
Otros ingredientes				
Zanahoria	-	-	-	+
Frutas atomizadas	+	-	-	-
Almidón de tapioca	-	-	+	-
Almidón de mafz	-	-	+	-
Extracto de malta	-	+	-	-
Vainilla	+	+	+	-
Sacarosa	+	+	+	+
Minerales y vitaminas				
Hierro reducido	+	+	+	+
Fosfato bicálcico	+	+	+	+
Yoduro potásico	-	-	+	-
Complejo vitamínico ³	+	+	+	+

¹ Ingrediente presente en la composición de los cereales infantiles.

² Ingrediente no presente en la composición de los cereales infantiles.

³ El complejo vitamínico aparece en todas por igual y consta de: vitamina A 1000UI; vitamina D 300UI; vitamina E 10 mg; vitamina C 90 mg; vitamina B₁ 1 mg; vitamina B₂ 1,2 mg; vitamina B₆ 1 mg; vitamina B₁₂ 1,2 µg; niacina 12 mg; ácido pantoténico 6 mg; ácido fólico 30 µg; biotina 40 µg.

Cálculo de los índices químicos

Otros parámetros ampliamente utilizados en la evaluación de la calidad de la proteína son el cálculo de índices químicos (IQ) o valores índice de una proteína (13,14). En el presente estudio se emplearon:

$$IQ = \frac{\text{mg aa limitante por g de proteína estudiada}}{\text{mg del mismo aa de proteína de referencia}} \times 100$$

$$IQCDP = \frac{IQ \times DIVP}{100}$$

En el caso del IQ el perfil de aminoácidos de la proteína de referencia, fue considerado el patrón de requerimientos para 2-5 años de edad (15).

Cálculo de la medida en que el contenido de proteína y aminoácidos esenciales de las harinas infantiles cubriría las raciones dietéticas recomendadas de los mismos en la edad infantil

Tomando como referencia los valores propuestos por la FAO/OMS (15) para niños de 3-4 meses y 5-24 meses, se calculó el porcentaje de las necesidades de aminoácidos esenciales que serían cubiertas por la proteína de la papilla de los distintos cereales infantiles estudiados.

El cálculo del aporte necesario de proteína de cada una de las papillas de cereales infantiles para cubrir las necesidades de niños a las edades de 0-5 meses, 5-12 meses y 12-36 meses de edad, se realizó mediante la siguiente fórmula (13):

$$\text{Aporte requerido de una mezcla proteica} = \frac{\text{Aporte recomendado según las proteínas del huevo}}{\text{Índice químico de la mezcla proteica}} \times 100$$

La determinación del porcentaje de proteína que garantizaría las necesidades proteicas mediante el consumo de las cuatro harinas de cereales infantiles hasta los 36 meses de edad, divididos en 3 periodos (0-5, 5-12 y 12-36 meses, respectivamente) se realizó con el valor del aporte de proteína requerida (Tabla 4), según las Raciones Dietéticas Recomendadas (RDR) del Food and Nutrition Board de EEUU (16). Para ello se tuvo en cuenta el peso medio de los niños a esas edades (6,8; 8,9 y 12,6 kg, respectivamente) (2), y el contenido en proteína de las harinas de cereales infantiles “Multicereales”, “Trigo”, “Crecimiento” y “Arroz y zanahoria” en la fase de papilla (9,1; 10,31; 6,32 y 7,06%, respectivamente). También se consideraron las recomendaciones del fabricante en cuanto a las cantidades de papilla ingeridas según la edad del niño. Así a los 4 meses se consume como mínimo 40 g de papilla al día (4 cucharadas de 5 g por papilla en dos tomas), a los 5 meses se consume como mínimo 50 g de papilla al día (5 cucharadas de 5 g por papilla en dos tomas) y de los 6 a los 24 meses de edad el consumo se estima como mínimo 60 g de papilla al día (6 cucharadas de 5 g por papilla en dos tomas).

Análisis estadístico

Para el estudio de los datos obtenidos, se ha realizado un análisis de varianza unifactorial (ANOVA) empleando los intervalos de confianza del 95%, 99% y 99,9%, para comprobar si las diversas variables dependen de los efectos aleatorios derivados del tipo de muestra (harina cruda, harina tostada, film y papilla) influidos por el procesado tecnológico

de los cuatro tipos de harinas de cereales infantiles. Una vez rechazada la hipótesis de igualdad entre medias para las distintas muestras, se realizó un test de separación de medias con intervalos de confianza al 95%, según la técnica de Tuckey. El paquete estadístico empleado fue el SYSTAT para Windows versión 5.0 (17).

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del procesamiento tecnológico sobre el perfil de aminoácidos esenciales y no esenciales de cereales infantiles y perfil aminoacídico de las papillas

Aunque a priori se esperaban mayores cambios, en líneas generales el tratamiento tecnológico no afectó de forma significativa ni al contenido en aminoácidos esenciales ni al de no esenciales en los cereales infantiles «Multicereales», «Trigo» y «Crecimiento». Sólo en los cereales «Arroz y zanahoria» se aprecia un efecto estadísticamente significativo de $P < 0,05$ para los aminoácidos, Lys (de $3,64 \pm 0,33$ en harina cruda a $3,15 \pm 0,23$ g/100 g de proteína en papilla) y arginina (Arg) (de $4,81 \pm 0,36$ en harina cruda a $5,36 \pm 0,43$ g/100 g de proteína en papilla), y de $P < 0,001$ para valina (Val) (de $6,55 \pm 0,13$ en harina cruda a $5,13 \pm 0,22$ g/100 g de proteína en papilla) (18). Debido a la inexistencia en líneas generales de diferencias estadísticamente significativas en el contenido

de aminoácidos esenciales como consecuencia del procesamiento tecnológico, en la Tabla 2 se muestran únicamente los valores obtenidos en la fase de papilla de los cereales infantiles, que al fin y al cabo es la que va a ser tomada por el niño, así como el patrón de requerimientos en aminoácidos esenciales propuesto por la FAO/OMS en 1985 (15) para niños de 3-4 meses y 5-24 meses de edad. En cuanto al perfil de aminoácidos de las distintas harinas de cereales, hemos observado que entre los aminoácidos esenciales los que presentaron valores más elevados en todas las harinas fueron tirosina+fenilalanina (Tyr+Phe) (de 5,69 a 9,3 g/100g de proteína) y leucina (Leu) (de 6,07 a 6,88 g/100g de proteína), llegando incluso a 9,63 g/100g de proteína en "Crecimiento". Entre los aminoácidos esenciales que mostraron los niveles más bajos estuvieron histidina (His) (de 1,27 a 2,45 g/100 g de proteína) y Lys (de 1,72 a 4,03 g/100 g de proteína). En cuanto a los aminoácidos azufrados (Cys+Met) todas las harinas mostraron niveles aceptables, con valores entre 3,44 y 4,03 g/100g de proteína. El contenido de los aminoácidos Cys+Met, Ile y Thr no mostraron diferencias significativas entre las cuatro papillas de cereales, mientras que el resto de aminoácidos fue significativamente superior (de $P < 0,05$ a $P < 0,001$) en las harinas de cereales sin gluten, destacando la harina "Crecimiento".

TABLA 2
Composición de aminoácidos (aa) esenciales (g/100 g proteína) en la fase de papilla de las cuatro harinas de cereales infantiles estudiadas

Aminoácidos	Multicereales	Trigo	Crecimiento	Arroz y zanahoria	Significación ¹	FAO/OMS ²	
						3-4m	5-24m
Cys+Met	3,82±1,43a	4,03±1,01a	3,37±1,31a	3,44±0,24a	NS	3,3	2,5
His	1,92±0,30ab	1,27±0,17b	2,45±0,50a	2,16±0,24a	*	1,6	1,9
Ile	3,73±0,81a	2,56±0,80a	4,05±0,69a	3,82±0,40a	NS	4,0	2,8
Leu	6,77±0,24b	6,07±1,32b	9,63±1,24a	6,88±0,52b	**	9,3	6,6
Lys	1,72±0,09c	1,49±0,30c	4,03±0,27a	3,15±0,23b	***	6,0	5,8
Thr	3,53±0,73a	3,43±0,21a	4,16±0,41a	3,73±0,14a	NS	5,0	3,4
Trp	1,43±0,03ab	1,08±0,34b	1,99±0,53a	0,87±0,15b	*	1,0	1,1
Tyr+Phe	5,78±0,87b	5,69±1,09b	9,30±0,41a	8,05±0,91a	**	7,2	6,3
Val	3,98±0,86ab	2,48±0,75b	5,32±0,99a	5,31±0,22a	**	5,4	3,5

¹ Nivel de significación: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, NS= no significación.

² Perfil de requerimientos de aminoácidos (g/100g proteína) en niños de 3-4 meses de edad y 5-24 meses de edad, datos de FAO/OMS (15).

a-c Letras distintas como superíndice de los valores medios dentro de la misma fila muestran diferencias significativas para $P < 0,05$.

En la Tabla 3 se muestran el contenido de aminoácidos no esenciales en la fase de papilla de los cereales infantiles. El ácido glutámico (Glu) (con valores de 17,01 a 29,53 g/100g de proteína), junto con prolina (Pro) (de 3,91 a 9,46 g/100g de proteína), fueron los aminoácidos más abundantes en todos los cereales infantiles estudiados. En este caso, el

contenido de todos los aminoácidos no esenciales mostró diferencias significativas entre las distintas harinas de cereales, siendo alanina (Ala), Arg, ácido aspártico (Asp) ($P < 0,001$), serina (Ser) ($P < 0,01$) y glicina (Gly) ($P < 0,05$) mayoritarios en los cereales sin gluten, mientras que Glu ($P < 0,001$) y Pro (0,05) lo fueron en los cereales con gluten.

TABLE 3
Composición de aminoácidos no esenciales (g/100 g proteína) en la fase de papilla de las cuatro harinas de cereales infantiles estudiadas

Aminoácidos	Multicereales	Trigo	Crecimiento	Arroz y zanahoria	Significación ¹
Ala	3,29±0,52b	2,56±0,48b	5,48±0,55a	5,19±0,05a	***
Arg	2,69±0,51b	2,38±1,04b	4,64±0,46a	5,36±0,43a	***
Asp	1,88±0,74b	0,86±0,12b	7,26±0,27a	7,62±0,58a	***
Glu	25,48±3,63a	29,53±3,80a	17,37±0,20b	17,01±1,07b	***
Gly	2,99±0,44ab	2,67±0,65b	3,97±0,28a	3,85±0,22a	*
Pro	9,46±1,99a	6,50±2,52ab	3,91±0,85b	5,05±0,39b	*
Ser	3,34±1,22b	2,61±0,48b	5,28±0,10a	4,21±0,07ab	**

¹ Nivel de significación: *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001, NS= no significación.

a-b Letras distintas como superíndice de los valores medios dentro de la misma fila muestran diferencias significativas para P<0,05.

Requerimientos de aminoácidos esenciales cubiertos por cereales infantiles durante el primer año de vida

No se conocen con total exactitud las necesidades diarias de aminoácidos esenciales para el hombre (13), aunque existen valores de ingesta recomendados por parte de organismos como la FAO y la OMS (15). Tomando como referencia los valores propuestos por este organismo para niños de 3-4 meses y 5-24 meses (Tabla 2), se ha calculado qué porcentaje de estas necesidades sería cubierto por la proteína de la harina de los distintos cereales infantiles estudiados en la fase de papilla por ser la forma comercial del producto (Figura 2). En todas las harinas de cereales se observó que las necesidades en aminoácidos, tanto en niños de 3-4 meses (Figura 2a) como de 5-24 meses de edad (Figura 2b), serían cubiertas en menor medida por Lys (de 24,83% en "Trigo" a la edad de 3-4 meses hasta 69,48% en "Crecimiento" a la edad de 5-24 meses), mientras que dependiendo del tipo de harina y de la edad, los aminoácidos cuyas necesidades serían cubiertas en mayor medida serían Trp (de 79,09% en "Arroz y zanahoria" a la edad de 5-24 meses hasta 199% en "Crecimiento" a la edad de 3-4 meses), Cys+Met (de 122,12% en "Crecimiento" a la edad de 3-4 meses hasta 161,2% en "Trigo" a la edad de 5-24 meses) e His (de 66,84% en "Trigo" a la edad de 5-24 meses hasta 153,12% en "Crecimiento" a la edad de 3-4 meses). En general, las necesidades de los aminoácidos en niños de 5-24 meses estarían cubiertas en mayor medida que a los 3-4 meses de edad puesto que para estos últimos las recomendaciones son mayores, excepto para los aminoácidos His y Trp, hecho que puede ser observado en todas las harinas. Tanto para la edad de 3-4 meses como para 5-24 meses, las necesidades de aminoácidos esenciales que cubrirían las harinas de cereales infantiles no mostraron diferencias

significativas (P<0,001) en cuanto al tipo de cereal utilizado para los aminoácidos Cys+Met, Ile y Thr. Sin embargo, sí que mostraron diferencias significativas los aminoácidos Lys (P<0,001), Leu, Tyr+Phe y Val (P<0,01), His y Trp (P<0,05) dependiendo de la harina utilizada. De este modo los requerimientos en estos aminoácidos serían cubiertos en mayor medida por las harinas de cereales sin gluten, especial por la harina "Crecimiento", que las con gluten.

Evaluación de la calidad de la proteína de cereales infantiles mediante índices químicos

Entre los numerosos procedimientos ideados para evaluar la calidad de una proteína, uno de los más utilizados es la determinación de la cantidad de aminoácido esencial menos abundante en la proteína en estudio (aminoácido limitante), que nos permite calcular el índice químico (IQ) o valor índice (13).

En la Tabla 4 se muestra tanto los índices químicos (IQ e IQCDP) como los aminoácidos limitantes de las cuatro fases del procesado tecnológico de las harinas de cereales infantiles seleccionadas para el estudio. Los índices químicos basados en la Lys, aminoácidos azufrados (Met+Cys), Trp y Thr son, probablemente, los de mayor importancia práctica ya que parece ser que son los únicos que resultan limitantes en la mayoría de los regímenes humanos (13). En nuestro caso, y como era de esperar, para todas las harinas de cereales infantiles y en todas las fases, tanto en los requerimientos para niños de 3-4 como de 5-24 meses de edad, el aminoácido limitante fue la Lys. Este es también el aminoácido limitante del trigo, cebada, avena, maíz, arroz (19), sorgo, mijo y centeno (20), todos ellos utilizados como materias primas de los distintos cereales infantiles estudiados.

FIGURA 2

Porcentaje de aminoácidos esenciales que serán garantizados por la proteína de las harinas de cereales infantiles «Multicereales», «Trigo», «Crecimiento» y «Arroz y zanahoria» según las recomendaciones establecidas por la FAO/OMS (15) respecto a las necesidades de niños de 3-4 meses y 5-24 meses de edad. Cisteína+Metionina (Cys+Met), Histidina (His), Isoleucina (Ile), Lisina (Lys), Treonina (Thr), Triptófano (Trp), Tirosina+Fenilalanina (Tyr+Phe), Valina (Val). ^{a-c} Letras distintas en los valores medios de cada aminoácido muestran diferencias significativas para $P < 0,05$ con los de las otras harinas de cereales dentro del mismo periodo de edad

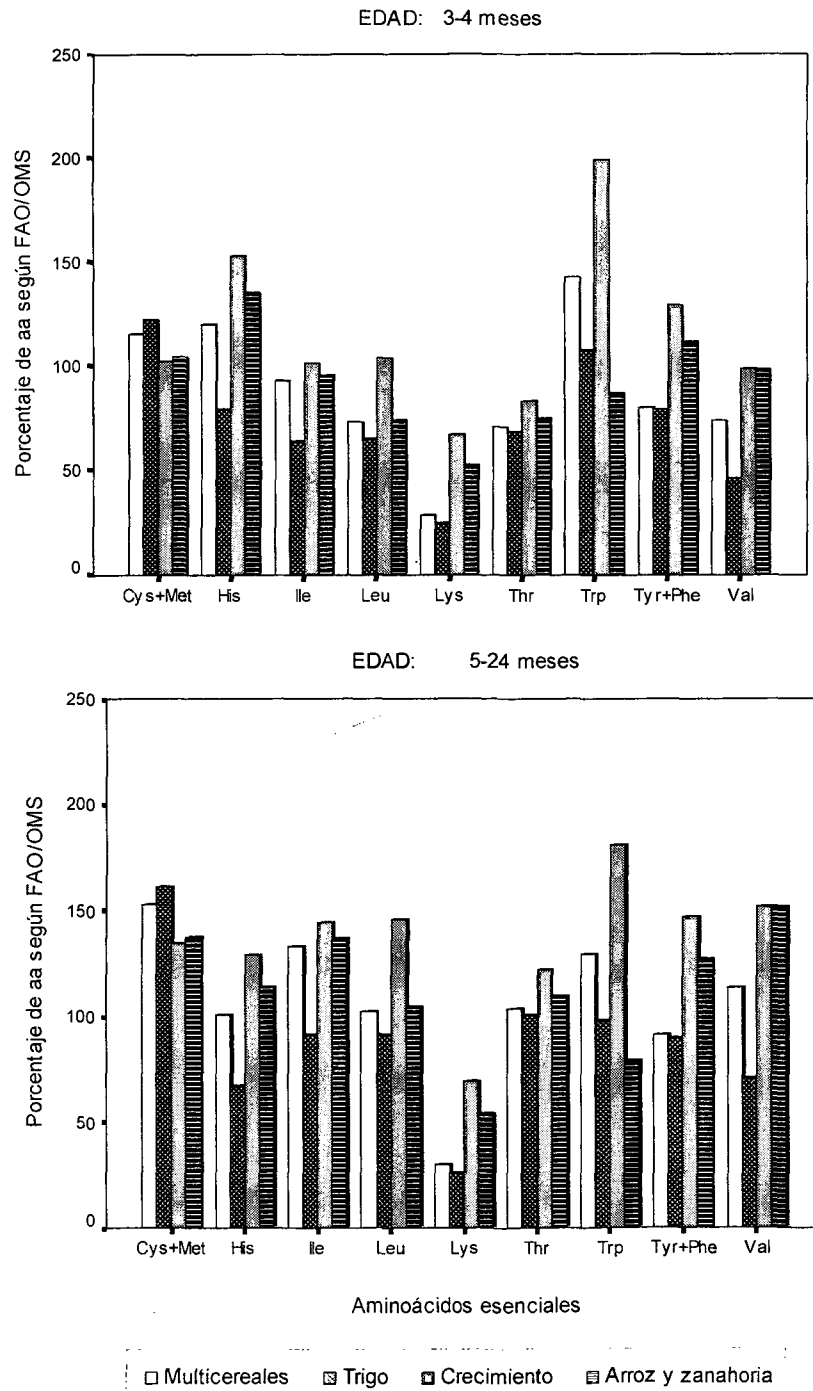


TABLA 4

Índice químico (IQ), Digestibilidad *in vitro* de la proteína (DIVP), Índice químico corregido mediante la digestibilidad de la proteína (IQCDP) y Aminoácido (aa) limitante de las cuatro fases (harina cruda, harina tostada, film y papilla) de los cereales estudiados, respecto a los valores propuestos por la FAO/OMS (15) para niños de 3-4 y 5-24 meses de edad. También se incluyen los aportes requeridos en proteína (g/kg/día) de estas harinas de cereales para niños de 0-5, 5-12 y 12-36 meses de edad (16)

Etapa del procesado/ Indicador calidad proteica	Harinas de cereales infantiles			
	«Multicereales»	«Trigo»	«Crecimiento»	«Arroz y zanahoria»
H. Cruda				
IQ (%)	26,03±6,03b	26,38±5,69b	63,27±6,55a	62,76±5,69a
DIVP (%)	79,62±4,64	91,87±0,10	97,83±7,50	81,57±3,38
IQCDP (%)	20,82±5,66b	24,23±5,24b	62,07±9,98a	51,26±6,10a
Aa limitante	Lys	Lys	Lys	Lys
H. Tostada				
IQ (%)	30,69±6,20b	23,62±4,83b	58,62±8,27a	68,79±6,2a
DIVP (%)	83,31±1,11	97,01±1,57	95,97±2,74	83,48±7,23
IQCDP (%)	25,59±5,38b	22,94±4,92b	56,33±8,97a	57,58±9,06a
Aa limitante	Lys	Lys	Lys	Lys
FILM				
IQ (%)	27,76±0,52b	20,34±3,96b	50,34±8,44a	45,69±6,03a
DIVP (%)	79,37±3,59	88,71±2,10	88,74±3,07	80,04±5,87
IQCDP (%)	22,04±1,26bc	18,07±3,79c	44,76±8,51a	36,69±6,80ab
Aa limitante	Lys	Lys	Lys	Lys
PAPILLA				
IQ (%)	29,66±1,55c	25,69±5,17c	69,48±4,65a	54,31±3,97b
DIVP (%)	76,54±0,72	91,30±0,47	90,33±0,32	74,48±4,08
IQCDP (%)	22,70±1,31c	23,46±4,80c	62,77±4,33a	40,50±4,59b
Aa limitante	Lys	Lys	Lys	Lys
Aporte requerido¹				
(0-5 meses)	7,42	8,56	3,17	4,05
(6-12 meses)	5,39	6,23	2,30	2,94
(12-36 meses)	4,05	4,67	1,73	2,21

a-b Letras distintas como superíndice de los valores medios dentro de la misma fila muestran diferencias significativas para $P < 0,05$ para un mismo parámetro entre las diferentes harinas.
1 g/kg/día.

Los índices químicos mostraron una clara tendencia dependiendo del tipo de harina de cereal utilizado. En las harinas de cereales con gluten, estos índices (IQ e IQCDP) no se vieron afectados significativamente por el tratamiento tecnológico. En el caso de las harinas de cereales sin gluten, si se produjo un cambio significativo pero sólo en la harina de "Arroz y zanahoria" (de 62,76% a 45,69%).

Diversas experiencias realizadas con niños en crecimiento han demostrado que el IQ permite una predicción correcta de la cantidad de proteína que se precisa para cubrir las necesidades en aminoácidos indispensables durante el periodo

de crecimiento (21). Así, hemos calculado cuál sería la cantidad necesaria de proteína de cada una de las harinas de cereales infantiles analizadas (Tabla 3) para cubrir las necesidades de niños a las edades de 0-5 meses, 5-12 meses y 12-36 meses de edad, según las recomendaciones del National Research Council de EEUU, que las sitúa en 2,2, 1,6 y 1,2 g por kg de peso y día, respectivamente (16). Los resultados muestran que, debido a que las necesidades proteicas y aminoacídicas varían rápidamente y lo hacen de forma decreciente conforme el niño va teniendo más edad, el aporte proteico requerido va decreciendo según el niño

avanza en edad en las cuatro harinas de cereales (Tabla 3). Hay que destacar que las proteínas de las harinas de cereales «Crecimiento» y «Arroz y zanahoria» fueron las más adecuadas, con unos requerimientos de 3-4 g por kg de peso y día en cualquiera de las edades consideradas (0-3 años), siendo menores en la harina «Crecimiento». Por el contrario, las harinas de cereales «Multicereales» y «Trigo» mostraron una proteína de menor valor nutritivo, con unos requerimientos a la edad de 0-5 meses por encima de los 7 g, aunque a una edad superior (1-3 años) el aporte requerido de proteína para cubrir las necesidades no sería superior a 5 g por kg y día.

Anteriormente se consideró el IQ como un parámetro de medida de la calidad de la proteína. Sin embargo, este método posee algunos inconvenientes como son el no aclarar los efectos negativos del exceso de aminoácidos o los factores antinutricionales presentes en el alimento proteico (13). Así, la Food and Drug Administration (22) ha propuesto el llamado «Índice químico corregido mediante la digestibilidad de la proteína» (IQCDP) («Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scoring») como un parámetro que podría definir mejor la calidad de la proteína. Aunque este índice se calcula realmente respecto a la digestibilidad de la proteína in vivo, en nuestro caso hemos optado por utilizar los ensayos in vitro porque constituyen una alternativa menos costosa y más fácil, tanto de realizar como de interpretar. Además, poseen una elevada exactitud respecto al Coeficiente de Eficacia Proteica (PER) empleado como método de referencia en la evaluación de la calidad proteica (23, 24).

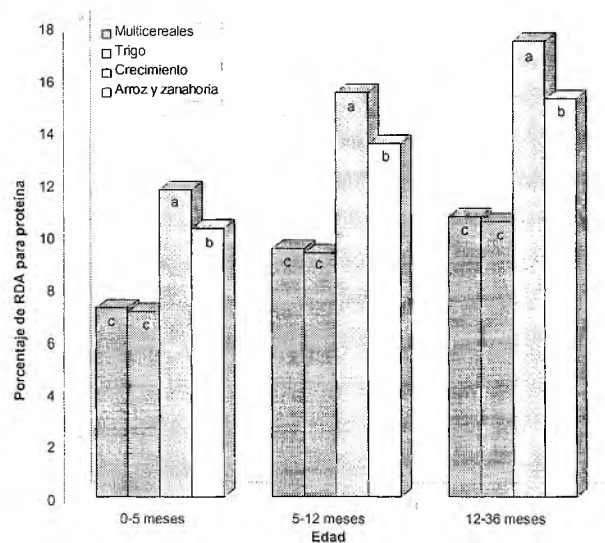
En general los índices de digestibilidad son bastante adecuados, correspondiendo los más bajos a las harinas de cereales «Multicereales» y «Arroz y zanahoria» (entorno a 75%), y los valores más altos a las harinas de cereales «Trigo» y «Crecimiento» (entorno a 91%). En cuanto al IQCDP, se observa la misma tendencia que la mostrada por el IQ, y es que las harinas de cereales infantiles con gluten no se vieron afectadas significativamente por el procesado tecnológico, presentando una menor calidad proteica, en comparación con las harinas de cereales sin gluten. En éstas, igual que anteriormente, con el tratamiento el valor del IQCDP tampoco se modifica significativamente en la harina «Crecimiento» (44,76% a 62,77%) y disminuye significativamente ($P<0,05$) de 51,26% a 36,69% en «Arroz y zanahoria».

Comparando el comportamiento de ambos índices químicos (IQ e IQCDP) en las distintas fases de procesado de las harinas de cereales, se observa que en todos los casos hubo diferencias estadísticamente significativas ($P<0,001$), excepto en el IQCDP para la fase de film, en la que las diferencias no fueron tan marcadas ($P<0,01$). Así, IQ e IQCDP se mostraron siempre superiores en las harinas de cereales infantiles sin gluten que con gluten, sin que se observaran diferencias estadísticamente significativas entre ambos índices

en todas las etapas del procesado previas a la fase de papilla. En definitiva, es la harina de cereales «Crecimiento» la que posee la proteína de mayor calidad, con unos IQ e IQCDP finales de 69,72% y 62,77%, respectivamente. Por el contrario, la proteína de la harina «Trigo», a pesar de tener una elevada digestibilidad (91,3%) en la fase papilla, similar a la de la harina «Crecimiento», mostró un IQCDP final (23,46%), tan bajo como el de «Multicereales» (22,70%) con una digestibilidad de 76,54%.

FIGURA 3

Porcentaje de proteína que sería garantizada por las harinas de cereales infantiles «Multicereales», «Trigo», «Crecimiento» y «Arroz y zanahoria» según las recomendaciones establecidas por el Food and Nutrition Board (16) respecto a las necesidades de niños de 0-5, 5-12 y 12-36 meses de edad. ^{a-c} Letras distintas en los valores medios de cada aminoácido muestran diferencias significativas para $P<0,05$ con los de las otras harinas de cereales dentro del mismo periodo de edad



Aunque puedan parecernos algo bajos los IQCDP obtenidos (inferiores a 100, que sería el considerado como óptimo), hay que tener en cuenta que estos índices no se refieren a una proteína pura (como pueda ser el caso de la caseína), sino a una mezcla de varias fuentes proteicas vegetales. También puede influir el hecho de que las harinas con un mayor índice hayan sido las que contenían una mayor proporción de arroz en su composición («Crecimiento» y «Arroz y zanahoria»), ya que en el caso de este cereal el aminoácido limitante (Lys) se encuentra en mayor cantidad que en el resto (exceptuando la avena) (19), lo que desde un punto de vista nutricional hace que la harina tenga un mayor valor biológico. Este comportamiento es similar al observado con relación a las necesidades de proteínas cubiertas por las

distintas harinas (Figura 3). Las harinas sin gluten, compuestas a partir de arroz principalmente, cubren un mayor porcentaje (10,25%-17,41%) de las necesidades proteicas cualquier edad y con diferencias significativas ($P<0,001$) con respecto al resto de harinas infantiles (7,08%-10,69%). Como era previsible, las necesidades proteicas a mayor edad (6-24 meses) se cubrirían significativamente ($P<0,001$) en mayor medida que los requerimientos de las mismas a edades más tempranas (4 y 5 meses).

CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se ha evaluado en qué medida el procesado tecnológico influye en la calidad de la proteína de las harinas de cereales infantiles a través de sus aminoácidos esenciales, mediante el uso de diferentes parámetros de calidad proteica de un alimento. De forma general el contenido de aminoácidos esenciales no se ve afectado como consecuencia del tratamiento tecnológico, siendo capaces de cubrir entre un 50% y 200% las necesidades aminoacídicas desde los 3 hasta los 24 meses de edad. Únicamente se observó un descenso significativo, de relevancia en la calidad proteica, en el aminoácido Lys en la harina de cereales infantiles «Arroz y zanahoria». A pesar de ello, los índices químicos (IQ e IQCDP) son clara y significativamente superiores en las harinas de cereales sin gluten, mostrando la harina «Crecimiento» la mayor calidad proteica debido a que presentó un mayor contenido en aminoácidos esenciales y al estar formuladas con arroz (cereal de mayor contenido en Lys). Por el contrario, las harinas de cereales con gluten mostraron unos índices químicos inferiores, debido a su menor contenido en Lys y, aunque la harina «Trigo» presenta una digestibilidad *in vitro* de la proteína bastante elevada (88,71%-97,87%), no fue suficiente para obtener un IQCDP similar al de las harinas sin gluten (36,69%-62,77%). Por todo ello, el aporte de proteína requerido en las harinas de cereales para cubrir las necesidades proteicas hasta los 3 años de edad es menor en los cereales sin gluten ya que su proteína es capaz de cubrir los requerimientos en mayor medida que los cereales con gluten. Así, podemos concluir que la harina de cereales cuya proteína se afecta menos por el tratamiento tecnológico, y por tanto posee una elevada digestibilidad y un mayor contenido en aminoácidos esenciales para cubrir las necesidades infantiles fue la harina denominada «Crecimiento» compuesta principalmente por arroz y maíz.

AGRADECIMIENTOS

A Hero España, S.A. (Murcia, España) por proporcionar las muestras empleadas y su apoyo económico en este estudio (Proyecto UMU 3115), y al gobierno español por la beca de investigación (IN92-D34803105) de Darío Pérez-Conesa.

REFERENCIAS

1. Milner JA. Trace mineral in the nutrition of children. *J Pediatr* 1990;117 Suppl :147-55.
2. Committee on International Nutrition Programs: Maternal and infant nutrition in developing countries. Food and Nutrition Board. National Academy Press. Washington, USA, 1983.
3. Casado de Frías E, Maluenda C, Casado E. Alimentación del niño. En: Consejo General de Colegios Oficiales de Farmacéuticos, editores. Nutrición y dietética, aspectos sanitarios. Madrid, España. 1993: 383-403.
4. MacRitchie F. Physicochemical properties of wheat proteins in relation to functionality. *Adv in Food Nutr Res* 1992;36: 2-87.
5. Graybosh RA, Peterson CJ, Baenziger PS, Shelton DR. Environmental modification of hard red winter wheat flour protein composition. *J Cereal Sci* 1995;22:45-51.
6. Martí-Hennerberg C. Nutrición en pediatría. En: Cruz Hernandez, M, editor. Tratado de pediatría. Barcelona, España. 1993: 639-654.
7. Owusu-Ansah YJ, McCurdy SM. Pea protein: a review of chemistry, technology of production and utilization. *Food Rev Int* 1991;7(1):103-4.
8. Friedman M. Nutritional value of proteins from different food sources: a review. *J Agric Food Chem* 1996;(1): 6-29.
9. Srivastav PP, Das H, Prasad S. Effect of roasting process variables on *in vitro* protein digestibility of bengalgram, maize and soybean. *Food Chem* 1990;35: 31-37.
10. Moore S, Stein WH. Chromatographic determination of aminoacids by the use of automatic recording equipment. *Methods of Enzymol* 1963;(6): 819-831.
11. Sastry CSP, Tumuru MK. Spectrophotometric determination of tryptophan in proteins. *J Food Sci Tech* 1985;22:146-7.
12. Atterlee LD, Bodwell CE, Hackler LR. Protein quality in humans: assessment and *in vitro* estimation. In: Bodwell, CE, Adkins, JS, Hopkins, DT, editors. AVI Publishing Co., Inc. Westport, CT. 1981:316-8.
13. Cheftel JC, Cuq JL, Lorient D. Proteínas alimentarias. En: Acribia S.A. edición. Zaragoza, España. 1989.
14. Henley EC, Kuster JM. Protein quality evaluation by protein digestibility-corrected amino acid scoring. *Food Technol* 1994; (4): 74-77.
15. FAO/OMS. Informe de la reunión consultiva sobre Necesidades de energía y proteínas. Serie informes técnicos. Ginebra, Suiza, 1985:724.
16. National Research Council (NRC). Raciones dietéticas recomendadas. En: Consulta, S.A edición. 1ª edición española de la 10ª edición original., Barcelona, España. 1991.
17. Wilkinson H, Howe P. Systat for Windows 5.0. Evanston, IL. 1992.
18. Pérez D. Calidad de la proteína en las distintas fases de procesado de las harinas de cereales infantiles. Murcia: Universidad de Murcia, 1998.
19. Lintas C, Mariani-Constantini A. Cereal foods: wheat, corn, rice, barley and other cereals and their products. In: Spiller, G.A editor. The Mediterranean diets in health and disease. Van Nostrand Reinhold, New York, USA. 1991:59-101.

20. Kent NL. Tecnología de los cereales. En: Acribia, S.A edición. Introducción para estudiantes de ciencia de los alimentos y agricultura. Zaragoza, España, 1987.
21. Harper AE. Mc Collum and directions in the evaluation of protein quality. *J Agric Food Chem* 1981;29: 429-35.
22. Food and Drug Administration. Food labelling. General provisions; Nutrition labelling; Label format; Nutrient content claims; Health claims; Ingredient labelling; State and local requirements and exemptions. Final rules. *Food and Drug Admin Fed Reg* 1993;58 (3): 2101-2106.
23. Alsmeyer RH, Cunningham, AE, Happich, ML. Equations predict PER from amino acid analysis. *Food Technol* 1974;(7): 34-40.
24. Walker AF. The estimation of protein quality. In: Hudson, B.J.F, editor. *Developments in food proteins*. Vol. 2. Applied science publishers Ltd. London, UK. 1983:293-319.

Recibido: 29-08-2001

Aceptado: 02-04-2002