

# EVALUACION DEL VALOR NUTRICIONAL DE LECHEs DE SOYA PREPARADAS A PARTIR DE GRANOS DE SOYA TRATADOS CON MICROONDAS<sup>1</sup>

S.H. Wang<sup>2</sup> y M.C.F. Toledo<sup>3</sup>

Escola Superior de Agricultura de Lavras  
Minas, Gerais, Brasil y  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Universidade Estadual de Campinas  
Campinas, São Paulo, Brasil<sup>3</sup>

## RESUMEN

Se prepararon extractos acuosos de soya a partir de granos previamente sometidos a microondas, para la inactivación casi completa de la lipoxigenasa. Las leches de soya así obtenidas se evaluaron nutricionalmente.

Todas las leches sometidas a estudio presentaron menor contenido de proteína, lípidos, ceniza y sólidos totales, en comparación con el alimento control, preparado a partir de granos no tratados por microondas. La leche obtenida de granos de soya con 8.7% de humedad inicial, irradiados con microondas durante 240 segundos, acusó el mejor puntaje químico de aminoácidos esenciales y la mayor disponibilidad aparente de metionina y PER. La inactivación completa de la actividad inhibidora de la tripsina se obtuvo en la leche preparada a partir de granos de soya con 56.8% de humedad, tratados por microondas durante 180 segundos.

Por otro lado, la leche obtenida de granos de soya con 38.8% de humedad, irradiados con microondas durante 180 segundos, resultó ser la de mayor digestibilidad de la proteína *in vitro*.

---

Manuscrito modificado recibido: 26-09-89.

- 1 Este trabajo se llevó a cabo con ayuda financiera de la Fundação de Amparo á Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil.
- 2 Profesora del Depto de Ciência dos Alimentos de la Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), en Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- 3 Profesora del Depto. de Ciências de Alimentos de la Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) de la Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), en Campinas, São Paulo, Brasil.

## INTRODUCCION

El extracto acuoso obtenido del grano de soya, generalmente conocido como "leche de soya", es un alimento de alto valor nutritivo y de fácil elaboración. Este producto ha alcanzado gran importancia en la alimentación de niños y adultos, particularmente de aquéllos que tienen intolerancia a la leche de vaca. Sin embargo, varios factores dificultan el uso de la leche de soya en gran escala, entre éstos, factores antinutricionales y, principalmente, el sabor característico de la soya cruda ("beany flavor") desagradable al paladar del occidental.

El proceso convencional para la producción de leche de soya que ha sido utilizado por varios siglos en el oriente, implica la maceración de los granos en agua, seguida de molienda en agua, filtración, y hervor por aproximadamente 30 minutos (1). A pesar de que este proceso es relativamente simple, el producto obtenido no logró alcanzar mucha popularidad en los países occidentales.

Los resultados de investigaciones previas sobre el procesamiento de la leche de soya (2-5) indicaron que el sabor de soya cruda era el factor más perjudicial para la aceptabilidad de este producto. El problema de sabor de la leche de soya está relacionado principalmente con la presencia de compuestos volátiles, producidos por la acción de la enzima lipoxigenasa. Inmediatamente después de que el grano de soya se somete a quebrado, la lipoxigenasa entra a actuar sobre los ácidos grasos insaturados, produciendo un gran número de compuestos de bajo peso molecular, con aromas que recuerdan a la soya cruda. Estos productos incluyen aldehídos, cetonas y alcoholes (3-8).

Con la finalidad de prevenir el surgimiento de estos compuestos, se han propuesto varios métodos para la inactivación de la lipoxigenasa antes que ésta comience a actuar. Los métodos más utilizados incluyen: calentamiento a 80-100°C durante la molienda de los granos de soya (2), hervor (9) o maceración etanólica (5, 10, 11) de los granos antes de la molienda. Los productos obtenidos a través de estos procesos tienen mejor sabor, pero puede ocurrir pérdida de solubilidad de las proteínas, disminuyendo así la extractibilidad de las mismas en la producción de leche.

Se ha sugerido también (12-14) la posibilidad del uso de calentamiento dieléctrico para mejorar la calidad nutricional de la soya. Todos estos estudios muestran que la radiación de microondas penetra rápidamente en los productos alimenticios, teniendo como resultado la formación de calor en tiempos bastante inferiores a aquéllos utilizados por los procesos convencionales.

En nuestra investigación anterior (15), se demostró que el calentamiento de los granos de soya por microondas implicaba la inactivación rápida de la lipoxigenasa, manteniendo la extractibilidad de la proteína en niveles apropiados para el procesamiento de leche. En el presente estudio se llevó a cabo la evaluación nutricional de algunas leches de soya preparadas con granos de soya cuya lipoxigenasa había sido casi por completo inactivada mediante su calentamiento por microondas.

## MATERIAL Y METODOS

### *Material*

Los granos de soya, variedad Santa Rosa (cosecha 1983), se obtuvieron del Instituto Agronómico de Campinas, San Pablo, Brasil. Estos se sometieron a análisis químico, el cual indicó la siguiente composición (b.s.): 38.9% de proteína, 22.7% de lípidos, 4.9% de ceniza, 5.8% de fibra cruda y 27.7% de carbohidratos.

Los granos de soya, después de remojados en agua (soya:H<sub>2</sub>O 1:4 p/v a temperatura de 28°C por 15, 30, 45 y 60 minutos, respectivamente) presentaron 26.9, 38.8, 47.0 y 56.8% de humedad. Estos granos macerados y aquéllos con su humedad natural de 8.7%, fueron usados para preparar la leche de soya.

### *Tratamiento por Microondas*

El calentamiento por microondas se efectuó en un horno de microondas, marca Sanyo Modelo 9003-B a 2450 MHz.

Se colocaron granos de soya (150 g) en placas Petri de 15 cm de diámetro por 2 cm de altura, y se sometieron a la radiación de microondas durante 240 segundos (granos con 8.7% de humedad) y 180 segundos (granos con 26.9 a 56.8% de humedad). Todos los experimentos se hicieron por triplicado.

Inmediatamente después del tratamiento, los granos fueron inmersos en nitrógeno líquido y transportados a un congelador a -20°C; el mismo congelamiento se hizo con granos no irradiados, que sirvieron como control.

### *Actividad Residual de la Lipoxigenasa*

La actividad de la lipoxigenasa en los granos de soya fue determinada de acuerdo con el método de Surrey (16), y la actividad residual de lipoxigenasa se calculó considerándose la actividad de la muestra control como 100%.

### *Elaboración de la Leche de Soya*

Esta se realizó siguiendo el flujograma que se presenta en la Figura 1.

La proporción soya:H<sub>2</sub>O utilizada en la preparación de la leche fue de 1:9 (17).

Los granos de soya congelados se dejaron a temperatura ambiente para alcanzar el equilibrio, siendo en seguida pesados y macerados en agua a 25-30°C, durante cinco horas. Se siguió, entonces, el flujograma que ilustra la citada Figura 1.

### *Análisis Químico de la Leche de Soya*

Las determinaciones de proteína y ceniza se hicieron de acuerdo con los métodos de la AACC (18). Los lípidos y sólidos totales fueron determinados conforme los métodos de Bligh y Dyer (19), y la AOAC (20), respectivamente.

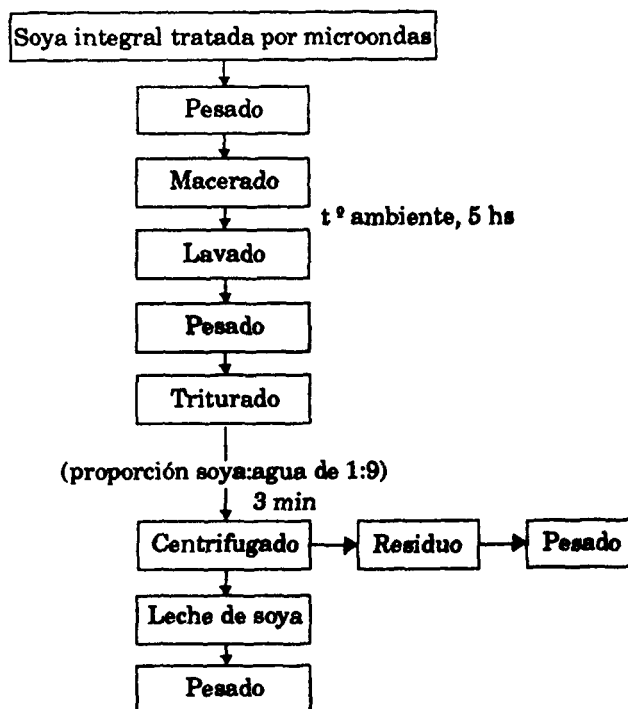


FIGURA 1

**Flujograma para la producción de leche de soya en escala de laboratorio, utilizando granos tratados por microondas**

### *Puntaje Químico*

La determinación de los aminoácidos se llevó a cabo por el método de Spackman, Stein y Moore (21) utilizando un analizador automático de aminoácidos, marca Beckman 119-C1, y el procedimiento recomendado en el manual del aparato. Con base en los valores de los aminoácidos obtenidos, se calculó el puntaje químico para los aminoácidos esenciales, tomándose como referencia el patrón de la FAO, conforme la metodología descrita por la FAO (22).

### *Actividad del Inhibidor de Tripsina*

Esta se determinó básicamente, según la técnica original de Kunitz, 1947, conforme a lo descrito por Kakade, Simons y Liener (23).

Considerándose que la definición de unidad de tripsina (UT) sea como el aumento de 0.01 unidad de absorbancia a 280 nm en las condiciones del

experimento, se calcularon las unidades de tripsina inhibida (UTI) por la diferencia entre las unidades de tripsina totales (UT) de actividad máxima, y de las muestras que contenían el inhibidor.

### *Digestibilidad de la Proteína in vitro*

Para determinar dicha digestibilidad, fundamentalmente se usaron los reactivos y el procedimiento descritos por Akeson y Stahmann (24). Se introdujeron modificaciones como las siguientes: a) proporción de la proteína: pepsina igual a 10:1; b) proporción de la proteína: pancreatina igual a 7.5:1; c) precipitación de la proteína no digerida con ácido tricloroacético.

### *Disponibilidad Aparente de Metionina*

Después de la hidrólisis enzimática de la proteína, se determinó la metionina en el extracto no precipitable con ácido tricloroacético, según el procedimiento de MacCarthy y Sullivan, adaptado por Pieniazék, Grabarek y Rakowska (25).

### *Índice de Eficiencia Proteínica (PER)*

El PER se determinó en todas las leches de soya, de acuerdo con el procedimiento 43.183 descrito por la AOAC (26). Se utilizaron 42 ratas Wistar de 21 días de edad, las que fueron distribuidas en siete grupos experimentales, usando seis animales por grupo. Antes de la preparación de las dietas, todas las muestras de leche de soya fueron liofilizadas, siendo el ensayo conducido con dietas que contenían 10% de proteína de soya, y al mismo tiempo, una dieta con 10% de caseína como proteína-patrón. Se calcularon: a) aumento de peso/rata/día, y b) eficiencia alimentaria, según Dutra de Oliveira y Scatena (27).

### *Análisis Estadístico*

El análisis estadístico incluyó análisis de varianza siguiendo el delineamiento con un criterio de variación en los análisis químicos y bioquímicos de la leche, con posterior análisis de las diferencias entre medias por la prueba de Tukey. También se estudió la correlación entre las siguientes variables: humedad inicial del grano de soya vs. actividad residual del inhibidor de tripsina (ARIT), ARIT vs. digestibilidad de la proteína *in vitro*, ARIT vs. PER, digestibilidad de la proteína *in vitro* vs. PER, y puntaje de aminoácidos sulfurados vs. PER. Todos los análisis estadísticos se realizaron según el método descrito por Pimentel Gomes (28).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Considerando el sabor de la leche de soya como factor importante para su aceptabilidad, y la solubilidad de la proteína del grano como propiedad fundamental para la elaboración de la leche de soya, se seleccionaron dentro de las condiciones de exposición de los granos de soya a microondas presen-

tadas por Wang y Toledo (15), aquéllas que resultasen con inactivación de la lipoxigenasa superior a 95%, manteniendo un índice de solubilidad de nitrógeno adecuado para la posterior obtención de leche.

La Tabla 1 ilustra las condiciones escogidas e identifica las muestras de leche resultantes después del procesamiento de los granos.

**TABLA 1**

**IDENTIFICACION DE MUESTRAS DE LECHE DE SOYA PREPARADAS  
CON GRANOS CUYA LIPOXIGENASA FUE INACTIVADA POR EL  
TRATAMIENTO CON MICROONDAS**

Humedad inicial (%)	Tiempo de exposición (seg)	Actividad residual de la lipoxigenasa (%)	Leche de (soya)
8.7*	0	100	I
8.7	240	2.3	II
26.9	180	4.5	III
38.8	180	1.8	IV
47.0	180	1.3	V
56.8	180	1.2	VI

\* Control, granos no sometidos a microondas.

*Composición Química*

Todas las muestras de leche preparadas de granos tratados con microondas acusaron menores tenores de proteína, lípidos, ceniza y carbohidratos en relación a las muestras control (Tabla 2). Entre éstas, la muestra de leche VI, correspondiente a los granos de soya con 56.8% de humedad inicial y 180 segundos de exposición, fue la que presentó menor tenor de sólidos totales, proteína y lípidos.

Durante la maceración ocurre pérdida de sólidos de los granos de soya (29, 30) y los sólidos encontrados en el agua de maceración están constituidos, en promedio, por aproximadamente 60% de carbohidratos, 6% de lípidos y el resto, por proteína bruta (31). Considerando que en el presente trabajo los granos de soya fueron macerados durante diferentes intervalos de tiempo antes del calentamiento por microondas, cabe suponer que las mayores pérdidas de sólidos ocurrieron en granos de soya con mayores contenidos de humedad, particularmente con relación a carbohidratos. Tal suposición la confirman en parte, los contenidos de sólidos totales y carbohidratos encontrados para las diferentes muestras de leche (Tabla 2). Hay que considerar que los granos de soya con o sin maceración previa, fueron posteriormente expuestos a microondas, y es de conocimiento general que el calentamiento por microondas resulta en un decrecimiento de la solubilidad de la proteína de soya, con la consecuente disminución en capacidad de emulsificación durante la extracción de la leche, lo que se refleja en menores contenidos de proteína y materia grasa.

TABLA 2

COMPOSICION QUIMICA (g/100ml) DE LA LECHE DE SOYA OBTENIDA A PARTIR DE GRANOS DE SOYA  
SOMETIDOS A MICROONDAS DE 2,450 MHZ

Leche de soya	Proteína	Materia grasa	Ceniza	Carbohidrato*	Agua**	Sólidos totales
I***	3.78 <sup>a</sup>	2.18 <sup>a</sup>	0.41 <sup>a</sup>	1.14 <sup>a</sup>	92.49 <sup>f</sup>	7.51 <sup>a</sup>
II	3.24 <sup>c</sup>	1.60 <sup>c</sup>	0.24 <sup>c</sup>	0.54 <sup>c</sup>	94.38 <sup>d</sup>	5.62 <sup>c</sup>
III	3.27 <sup>b</sup>	1.68 <sup>b</sup>	0.27 <sup>b</sup>	0.65 <sup>b</sup>	94.13 <sup>e</sup>	5.87 <sup>b</sup>
IV	2.63 <sup>d</sup>	1.35 <sup>d</sup>	0.22 <sup>d</sup>	0.56 <sup>c</sup>	95.24 <sup>c</sup>	4.76 <sup>d</sup>
V	2.35 <sup>e</sup>	1.20 <sup>e</sup>	0.22 <sup>d</sup>	0.45 <sup>d</sup>	95.78 <sup>b</sup>	4.22 <sup>e</sup>
VI	2.34 <sup>f</sup>	1.20 <sup>e</sup>	0.18 <sup>e</sup>	0.28 <sup>e</sup>	96.02 <sup>a</sup>	4.00 <sup>f</sup>

Las medidas seguidas de una letra diferente en la misma columna, indican diferencias, con la prueba de Tukey, al nivel de 5% de probabilidad

\*Calculado por diferencia (sólidos totales-proteína-materia grasa-ceniza).

\*\*Calculado por diferencia (100-sólidos totales).

\*\*\*Control, granos no sometidos a microondas.

Los datos de composición química encontrados están dentro del rango de valores establecidos por Man, Stanley y Rasper (32), en muestras de leche preparadas a partir de 55 variedades de soya. La relación soya:H<sub>2</sub>O utilizada por los autores citados (32) fue de 1:10, mientras que en el presente estudio fue de 1:9 y parece ser adecuada para compensar las pérdidas ocasionadas por el tratamiento con microondas al que los granos fueron sometidos.

### *Puntaje Químico*

Al compararlas con los patrones de la FAO (22), todas las leches acusaron deficiencia en aminoácidos sulfurados (metionina + cistina) y en valina, de modo que se observaron contenidos de treonina, principalmente, en las muestras de leche de soya provenientes de granos sometidos a microondas (Tabla 3). Estos resultados concuerdan con los descritos por Sikka *et al.* (33), quienes constataron que los aminoácidos limitantes primarios en cuatro variedades de soya estudiadas eran los sulfurados, metionina y cistina, y los limitantes secundarios, valina y treonina. En el caso de la leche de soya, el principal aminoácido deficiente es la metionina (27).

Según la Tabla 3, diferentes tratamientos con microondas de los granos de soya determinaron diferentes puntajes químicos de aminoácidos en las leches resultantes, lo que era de prever en vista de la desnaturalización protefínica ocurrida en diferentes grados. Parece también probable que las fracciones de proteína desnaturalizadas durante el calentamiento no hayan sido las mismas en los varios tratamientos, resultando, por lo tanto, en variaciones en los puntajes de aminoácidos de las muestras de leche.

El calentamiento de los granos de soya con microondas se tradujo en un incremento del puntaje de aminoácidos sulfurados en las muestras de leche, siendo el puntaje máximo (76%), observado en la muestra de leche producida a partir de granos de soya no macerados, sometidos a microondas por 240

**TABLA 3**

**PUNTAJE QUIMICO DE AMINOACIDOS ESENCIALES (%)  
DE LA LECHE DE SOYA OBTENIDA A PARTIR DE GRANOS  
SOMETIDOS A MICROONDAS DE 2,450 MHz**

Leche de soya Aminoácido	I*	II	III	IV	V	VI
Isoleucina	104	91	90	108	94	92
Leucina	108	103	92	98	97	93
Lisina	97	99	90	89	75	74
Metionina + Cistina	49	76	55	63	67	65
Fenilalanina + Tirosina	108	112	95	85	98	105
Treonina	93	85	70	71	75	73
Valina	69	77	62	65	70	68

\* Control, granos no sometidos a microondas.

segundos. Esta misma muestra de leche presentó cantidades de valina, fenilalanina, tirosina y lisina superiores al control, lo que no sucedió con las otras muestras de leche.

Los resultados en cuanto a la lisina sugieren que la pérdida de este aminoácido durante el calentamiento por microondas es menor en los granos de soya con baja humedad, y ocurre con facilidad en granos con humedades más altas.

#### *Actividad del Inhibidor de Tripsina*

Según los datos que se detallan en la Tabla 4, es evidente que la muestra de leche extraída de granos de soya no tratados acusa el nivel más elevado de inhibición de tripsina, correspondiente a 155.4 UTI/mg proteína. Después del tratamiento de los granos de soya con microondas se constató una disminución del nivel de inhibición de la tripsina en la leche resultante, ya que la muestra de leche VI, proveniente de granos de soya con 56.8% de humedad inicial, sometidos a microondas durante 180 segundos, mostró un nivel de inhibición de tripsina significativamente inferior (0.2 UTI/mg proteína) respecto a las demás muestras.

#### *Digestibilidad de la Proteína in vitro*

Los ensayos de digestibilidad se exponen en la Tabla 5. Según atestiguan los datos, la leche de soya extraída de granos de soya no tratados, presentó 68.1% de digestibilidad de proteína *in vitro*, lo que concuerda con el valor de 68% determinado por Akeson y Stahmann (24) para granos de soya. Después del tratamiento con microondas, ocurrió un aumento de digestibilidad de la proteína *in vitro* en todas las muestras de leche preparadas.

**TABLA 4**

**ACTIVIDAD DEL INHIBIDOR DE TRIPSINA DE LA LECHE DE SOYA  
OBTENIDA A PARTIR DE GRANOS SOMETIDOS A MICROONDAS  
DE 2,450 MHz**

Leche de soya	UTI*/ml leche	UTI*/mg proteína	Actividad residual (%)
I**	5,873.8 <sup>a</sup>	155.4 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>
II	4,013.8 <sup>c</sup>	123.9 <sup>c</sup>	68.3 <sup>c</sup>
III	4,188.5 <sup>b</sup>	128.1 <sup>b</sup>	71.3 <sup>b</sup>
IV	2,684.5 <sup>d</sup>	102.1 <sup>d</sup>	45.7 <sup>d</sup>
V	2,372.0 <sup>e</sup>	100.9 <sup>d</sup>	40.4 <sup>e</sup>
VI	5.3 <sup>f</sup>	0.2 <sup>e</sup>	0.1 <sup>f</sup>

Las medidas seguidas de una letra diferente en la misma columna, indican diferencias, con la prueba de Tukey, al nivel de 5% de probabilidad.

\* Unidades de tripsina inhibidas.

\*\* Control, granos no sometidos a microondas.

TABLA 5

**DIGESTIBILIDAD DE LA PROTEÍNA *in vitro*\* DE LA LECHE DE SOYA A PARTIR DE GRANOS SOMETIDOS A MICROONDAS DE 2,450 MHz**

Leche de soya	Digestibilidad de la proteína <i>in vitro</i> (%)
I**	68.1 d
II	77.5 c
III	81.1 ab
IV	82.0 a
V	80.2 b
VI	77.8 c

Las medidas seguidas de una letra diferente en la misma columna, indican diferencias, con la prueba de Tukey, al nivel de 5% de probabilidad.

\* La caseína con 87.4% de pureza presentó 90.5% de digestibilidad *in vitro*.

\*\* Control, granos no sometidos a microondas.

De acuerdo con otros autores (33, 34), la mejoría encontrada en la digestión enzimática *in vitro* de la proteína de soya autoclaveada comparada con la cruda, se debe a la destrucción del inhibidor de la tripsina durante el proceso del autoclaveado, pero en el presente trabajo no se observó una relación directa entre un aumento de la digestibilidad de la proteína *in vitro* y una reducción en la actividad del inhibidor de la tripsina de los granos de soya después del calentamiento por microondas (coeficiente de correlación = -0.5318, no significativo).

Analizando las Tablas 4 y 5, se comprueba que la muestra de leche de soya IV, correspondiente a los granos con 38.8% de humedad inicial y 180 segundos de exposición, acusó un valor de digestibilidad de la proteína *in vitro* (82.0%) superior a las demás muestras de leche, a pesar de que todavía permanece en la muestra referida 45.7% de la actividad residual del inhibidor de la tripsina; ya la muestra VI (granos con 56.8% de la humedad) que tuvo una inactivación casi total del inhibidor de tripsina (0.1% de actividad), mostró un valor inferior (77.8%) de digestibilidad de la proteína.

Otros autores (35, 36) constataron que el tratamiento térmico puede mejorar la digestibilidad de la proteína de soya *in vitro*, porque el calentamiento puede provocar la apertura de la estructura de la proteína a través de la desnaturalización, y/o destruir todos o parte de los inhibidores de la tripsina. Por otro lado, Rhee y Rhee (37) consideran que el tratamiento térmico excesivo puede causar una disminución en la digestibilidad de la proteína *in vitro*, a través de enlaces cruzados. Esta observación probablemente explica la disminución de la digestibilidad encontrada en las muestras de leche V (granos con 47.0% de humedad) y VI (granos con 56.8% de humedad) —al ser comparados con las muestras III (granos con 26.9% de humedad) y IV (granos con 38.8% de humedad)— teniendo en cuenta que el incremento del tenor de humedad inicial, aumenta la intensidad de calentamiento por microondas.

Todas las muestras de leche de soya incluidas en el estudio muestran

TABLA 6

**DISPONIBILIDAD APARENTE DE METIONINA\* DE LECHE DE SOYA  
OBTENIDA A PARTIR DE GRANOS SOMETIDOS A MICROONDAS  
DE 2,450 MHz**

Leche de soya	Metionina potencialmente disponible (g/16 g N)
I**	0.54 <sup>e</sup>
II	1.01 <sup>a</sup>
III	0.77 <sup>d</sup>
IV	0.83 <sup>cd</sup>
V	0.95 <sup>ab</sup>
VI	0.89 <sup>bc</sup>

Las medidas seguidas de una letra diferente en la misma columna, indican diferencias con la prueba de Tukey, al nivel de 5% de probabilidad.

\* La caseína con 87.4% de pureza acusó 2.26% de metionina potencialmente disponible.

\*\* Control, granos no sometidos a microondas.

valores de digestibilidad proteínica *in vitro* menores que la caseína (90.5%). Según Maga, Lorenz y Onayemi (36), una menor susceptibilidad de las proteínas de la leche de soya a la digestión enzimática *in vitro* se debe al hecho de que las proteínas de la soya presentan estructuras más organizadas que la caseína, lo que la torna más resistente al ataque enzimático.

#### *Disponibilidad Aparente de la Metionina*

La disponibilidad aparente de la metionina en las diferentes muestras de leche de soya se consigna en la Tabla 6.

Las muestras de leche de soya proveniente de granos tratados por microondas presentaron una disponibilidad aparente de metionina mayor en comparación con la leche obtenida de granos no tratados. Así, la muestra de leche II, proveniente de granos de soya no macerados, sometidos a microondas por 240 segundos, acusó un valor máximo de metionina potencialmente disponible (1.01 g/16 g N).

Todas las muestras de leche de soya en estudio tuvieron contenidos de metionina menores que la caseína, confirmando, de esta forma la baja disponibilidad aparente de metionina en todas las muestras sometidas a estudio.

#### *Indice de Eficiencia Proteínica (PER)*

De conformidad con los resultados que se presentan en la Tabla 7, se constata que la leche de soya proveniente de granos no tratados tuvo un valor de PER negativo (-0.3), indicando la pérdida de peso en las ratas como

TABLA 7

**INDICE DE EFICIENCIA PROTEINICA (PER\*) Y EFICIENCIA ALIMENTICIA (AE\*) DE LA LECHE DE SOYA OBTENIDA A PARTIR DE GRANOS SOMETIDOS A MICROONDAS DE 2,450 MHz**

Leche de soya	PER corregido caseína = 2.5%	PER leche de soya/PER caseína (%)	AE
I**	- 0.3 <sup>o</sup>	- 10.2 <sup>d</sup>	—
II	1.1 <sup>a</sup>	42.2 <sup>a</sup>	10.7 <sup>c</sup>
III	0.5 <sup>d</sup>	18.3 <sup>c</sup>	19.5 <sup>a</sup>
IV	0.5 <sup>cd</sup>	21.5 <sup>c</sup>	18.5 <sup>a</sup>
V	0.9 <sup>b</sup>	34.0 <sup>b</sup>	14.1 <sup>b</sup>
VI	0.7 <sup>bc</sup>	26.3 <sup>bc</sup>	17.5 <sup>a</sup>

Las medidas seguidas de una letra diferente en la misma columna, indican diferencias, con la prueba de Tukey, al nivel de 5% de probabilidad.

\*La caseína con 81.6% de pureza acusó un PER = 2.1 y AE = 4.5.

\*\*Control, granos no sometidos a microondas.

consecuencia de la ingestión de la dieta que contenía esta muestra de leche. Por otro lado, no se observó ninguna inhibición en el crecimiento de ratas alimentadas con la dieta que contenía leches de soya elaboradas a partir de granos sometidos a microondas, que presentaron valores positivos de PER a pesar de ser inferiores a los de la caseína (PER = 2.5). El mayor valor de PER (1.1) lo tuvo la muestra de leche II, proveniente de los granos con 8.7% de humedad inicial, sometidos a microondas durante 240 segundos, correspondiendo a 42.2% del PER de la caseína.

Ya que en el presente estudio se pretendía evaluar solamente el efecto de microondas en las propiedades nutricionales de la leche de soya, las determinaciones del PER se hicieron en muestras de leche no sometidas al tratamiento térmico que normalmente precede a su consumo. Se cree, por lo tanto, que después del hervor de las leches obtenidas en este estudio, los valores de PER puedan ser mayores.

Analizando las Tablas 4 y 7, no hubo una correlación positiva entre la inactivación del inhibidor de tripsina y el aumento de PER en muestras de leche preparadas a partir de granos sometidos a microondas. La muestra de leche de soya VI (granos con 56.8% de humedad) que acusó prácticamente 0% de actividad residual del inhibidor de la tripsina, mostró un valor de PER igual a 0.7, mientras que el valor máximo de PER (1.1) se encontró en la muestra de leche II (granos con 8.7% de humedad) con 68.3% de actividad residual del inhibidor de tripsina. Por otro lado, comparando las muestras de leche de soya III, IV y V—provenientes de granos con 26.9, 38.8 y 47.0% de humedad inicial, respectivamente, sometidos a microondas por 180 segundos— se observa que el PER aumentó con la reducción de la actividad del inhibidor de la tripsina. Según los resultados expuestos, el inhibidor de la tripsina no sería el principal factor responsable de la inhibición del crecimiento de las ratas (coeficiente de correlación = -0.5425, no significativo).

Al comparar los resultados consignados en las Tablas 5 y 7, el aumento de la digestibilidad de la proteína *in vitro* debido al tratamiento por microondas, resultó en un aumento en el crecimiento de las ratas y en los valores de PER, a pesar de que entre las muestras provenientes de granos tratados, el máximo crecimiento de las ratas haya sido constatado en la muestra II con 77.5% de digestibilidad de la proteína *in vitro*, valor que no es mayor que las otras muestras elaboradas con granos sometidos a microondas. Tal hecho supone que el aumento de crecimiento de las ratas no depende exclusivamente del aumento de digestibilidad de la proteína *in vitro*, a pesar de que éste pueda favorecer el crecimiento de las ratas (coeficiente de correlación = 0.7022, no significativo).

El perfil de aminoácidos es importante en la evaluación de la calidad nutricional de la proteína (37). No obstante, el perfil de aminoácidos (índice de aminoácidos esenciales e índice de exigencia) solamente se correlaciona positivamente con el PER cuando los factores antinutricionales son destruidos (39). La calidad proteínica de la soya es afectada no sólo por el contenido de metionina determinado por métodos químicos, sino también por su disponibilidad (40).

Los resultados que se exponen en las Tablas 3, 6 y 7 indican que el tratamiento por microondas de los granos de soya ocasionó un aumento del puntaje y de la disponibilidad aparente de metionina, así como del puntaje de cistina y del valor de PER (coeficiente de correlación = 0.9368, significativo al nivel de 5% de probabilidad), a pesar de haber ocurrido cierta pérdida de lisina.

En vista de que los aminoácidos azufrados se consideran como los aminoácidos limitantes primarios, se cree que el incremento en la cantidad de aminoácidos azufrados presentes en las leches de soya provenientes de granos sometidos a microondas haya favorecido el crecimiento de las ratas. Respecto a la pérdida de lisina, considerando que el puntaje de lisina presente en las muestras de leche de soya obtenidas de granos no tratados es relativamente alto en relación con el patrón FAO (22), la pérdida de lisina en función del tratamiento por microondas no debe perjudicar la calidad de la proteína de las leches de soya.

En cuanto a la eficiencia alimenticia de las muestras de leche de soya estudiadas, la muestra II, obtenida de granos con 8.7% humedad inicial, expuestos a microondas por 240 segundos, es superior a las demás.

Con base en los resultados aquí dados a conocer en relación al aspecto nutricional de las leches de soya preparadas a partir de los granos sometidos a microondas, se puede concluir que la muestra II es nutricionalmente superior a las demás muestras sometidas a estudio. Se cree que esta leche, después del hervor tradicional puede, pues, ser utilizada como fuente proteínica alternativa.

## CONCLUSIONES

- 1 El tratamiento de granos de soya con microondas es prioritario para el procesamiento de la leche, con fines de obtener un producto con alta digestibilidad de la proteína *in vitro*, incremento de los aminoácidos azufrados, y reducción de la actividad inhibidora de la tripsina; la reducción de la

actividad inhibidora de la tripsina es favorecida por el incremento de la humedad en los granos antes del tratamiento por microondas.

2 Considerando los parámetros de este estudio, se podría concluir que un tratamiento inicial con microondas en los granos no macerados con 8.7% de humedad a 240 segundos de exposición, favorecería la producción de leche de soya con alto valor nutricional. Esta leche, después del tradicional hervor, antes del consumo, bien puede ser una fuente alternativa de proteína, sobre todo en los países en desarrollo que enfrentan problemas de desnutrición proteínica e intolerancia a la lactosa.

## SUMMARY

### EVALUATION OF THE NUTRITIONAL VALUE OF SOY MILKS PREPARED FROM BEANS TREATED BY MICROWAVES

Aqueous soybean extracts were prepared from beans, previously treated by microwaves to almost inactivate their lipoxigenase. These soy milks thus obtained were then nutritionally evaluated.

All soy milks studied showed lower protein, fat, ash and total solids contents, as compared to a control milk prepared from soy beans not processed by microwaves. The milk obtained from soybeans with 8.7% initial moisture, treated by microwaves for 240 seconds, had the best total chemical score and the highest apparent methionine availability, as well as PER. The complete inactivation of the trypsin inhibitor activity was achieved with the milk prepared from soybeans with 56.8% initial moisture, subjected to microwave treatment for 180 seconds.

On the other hand, the milk obtained from soybeans with 38.8% initial moisture, processed by microwaves for 180 seconds, resulted to have the highest, *in vitro*, protein digestibility.

## BIBLIOGRAFIA

1. Piper, C.V. & W.J. Morse. *The Soybean*. New York, N.Y., McGraw-Hill, 1923, 329 p.
2. Wilkens, W.F., L.R. Mattick & D.B. Hand. Effect of processing method on oxidative off-flavors of soybean milk. *Food Technol.*, 21: 1630-1633, 1967.
3. Khaleque, A., W.R. Bannatyne & G.M. Wallace. Studies on the processing and properties of soymilk. I. Effect of preprocessing conditions on the flavour and compositions of soymilks. *J. Sci. Food Agric.*, 21: 579-583, 1970.
4. Kon, S., J.R. Wagner, D.C. Guadagni & R.J. Horvat. pH adjustment control of oxidative off-flavors during grinding of raw legume seeds. *J. Food Sci.*, 35: 343-345, 1970.
5. Ashraf, H.R.L. & H.E. Snyder. Influence of ethanolic soaking of soybean on flavor and lipoxigenase activity of soymilk. *J. Food Sci.*, 46: 1201-1204, 1981.
6. Mattick, L.R. & D.B. Hand. Identification of a volatile component in soybeans that contributes to the raw bean flavor. *J. Agric. Food Chem.*, 17: 15-17, 1969.
7. Wilkens, W.F. & F.M. Lin. Gas chromatographic and mass spectral analyses of soybean milk volatiles. *J. Agric. Food Chem.*, 18: 333-335, 1970.
8. Goossens, A.E. Protein foods; flavors and off-flavors. *Food Eng.*, 46: 59-60, 1974.
9. Nelson, A.I., M.P. Steinberg & L.S. Wei. Illinois process for preparation of soymilk. *J. Food Sci.*, 41: 57-61, 1976.

10. Eldridge, A.C., K. Warner & W.J. Wolf. Alcohol treatment of soybeans and soybean protein products. *Cereal Chem.*, 54: 1229-1237, 1977.
11. Borhan, M. & H.E. Snyder. Lipoxigenase destruction in whole soybeans by combinations of heating and soaking in ethanol. *J. Food Sci.*, 44: 586-590, 1979.
12. Borchers, R., L.D. Monage, S.D. Nelson & L.E. Stetson. Rapid improvement in nutritional quality of soybeans by dielectric heating. *J. Food Sci.*, 37: 333-334, 1972.
13. Pour-El, A., S.O. Nelson, E.E. Peck, B. Tjho & L.E. Stetson. Biological properties of VHF - and microwave-heated soybean. *J. Food Sci.*, 46: 800-805 and 895, 1981.
14. Wing, R.W. & J.C. Alexander. The value of microwave radiations in the processing of full-fat soybeans. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 8: 16-18, 1975.
15. Wang, S.H. & M.C.F. Toledo. Inactivation of soybean lipoxigenase by microwave heating; effect of moisture content and exposure time. *J. Food Sci.*, 52: 1344-1347, 1987.
16. Surrey, K. Spectrophotometric method for determination of lipoxidase activity. *Plant Physiol.*, 39: 65-70, 1964.
17. Mital, B.K. & K.H. Steinkraus. Utilization of oligosaccharides by lactic acid bacteria during fermentation of soy milk. *J. Food Sci.*, 40: 114-118, 1975.
18. American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of the AACC*. 7th ed. St. Paul, MN, The Association, 1969, Vol. 1 and 2.
19. Bligh, E.G. & W.J. Dyer. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37: 911-917, 1959.
20. Association of Official Agricultural Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 9th ed. Washington, D.C., The Association, 1960, p. 188.
21. Spackman, D.C., W.H. Stein & S. Moore. Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. *Anal. Chem.*, 30: 1190-1206, 1958.
22. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Energy and Protein Requirements*. Report of a Joint FAO/WHO *ad hoc* Expert Committee, Rome, 22 March-2 April, 1971. Published by FAO and WHO. Geneva, 1973, p. 62-4. (FAO Nutrition Meetings Report Series No. 52, and WHO Technical Report Series No. 522).
23. Kakade, M.L., N.R. Simons & I.E. Liener. An evaluation of natural vs. synthetic substrates for measuring the antitryptic activity of soybean samples. *Cereal Chem.*, 46: 518-526, 1969.
24. Akesson, W.R. & M.A. Stahmann. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. *J. Nutr.*, 83: 257-261, 1964.
25. Pieniazék, D., Z. Grabarek & M. Rakowska. Quantitative determination of the content of available methionine and cysteine in food proteins. *Nutr. Metab.*, 18: 16-22, 1975.
26. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 12th ed. Washington, D.C., The Association, 1975, p. 857.
27. Dutra de Oliveira, J.E. & L. Scatena. Nutritional value of protein from a soybean milk powder. *J. Food Sci.*, 32: 592-594, 1967.
28. Pimental Gomes, F. *Curso de Estatística Experimental*. São Paulo, Nobel, 1982, 430 p.
29. Lo, W.Y.L., K.H. Steinkraus, D.B. Hand, L.R. Hackler & W.F. Wilkens. Soaking soybeans before extraction as it affects chemical composition and yield of soymilk. *Food Technol.*, 22: 1188-1190, 1968.
30. Wang, H.L., E.W. Swain, C.W. Hesseltine & H.D. Heath. Hydration of whole soybean affects solids losses and cooking quality. *J. Food Sci.*, 44: 1510-1513, 1979.
31. Wilkens, W.F. & L.R. Hackler. Effect of processing conditions on the composition of soymilk. *Cereal Chem.*, 46: 391-397, 1969.
32. Man, J.M. de, D.M. Stanley & V. Rasper. Composition of Ontario soybeans and soymilk. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 8: 1-8, 1975.

33. Sikka, K.C., A.K. Gupta, R. Singh & D.P. Gupta. Comparative nutritive value, amino acid content, chemical composition, and digestibility *in vitro* of vegetable- and grain-type soybean. *J. Agric. Food Chem.*, **26**: 312-316, 1978.
34. Gupta, A.K., N. Wahie & A.D. Deodhar. Protein quality and digestibility *in vitro* of vegetable and grain-type soybeans. *Indian J. Nutr. Diet.*, **13**: 244-251, 1976.
35. Simon, M. & D. Melnick. The *in vitro* digestibility of raw and heat-processed soy products varying in the nutritive value of the protein. *Cereal Chem.*, **27**: 114-126, 1950.
36. Maga, J.A., K. Lorenz & O. Onayemi. Digestive acceptability of proteins as measured by the initial rate of *in vitro* proteolysis. *J. Food Sci.*, **38**: 173-174, 1973.
37. Rhee, K.S. & K.C. Rhee. Nutritional evaluation of the protein in oilseed products heated with sugars. *J. Food Sci.*, **46**: 164-168, 1981.
38. Hackler, L.R., J.R. Van Buren, K.H. Steinkraus, I. El Rawi & D.B. Hand. Effect of heat treatment on nutritive value of soymilk protein fed to weanling rats. *J. Food Sci.*, **30**: 723-728, 1965.
39. Hackler, L.R. & B.R. Stillings. Amino acid composition of heat-processed soymilk and its correlation with nutritive value. *Cereal Chem.*, **44**: 70-77, 1967.
40. Prado, V.C. do, P.L. Antunes & V.C. Sgarbieri. Antinutrient occurrence and some physicochemical properties of the protein fractions of five Brazilian soybean varieties. *Arch. Latinoamericanas Nutr.*, **30**: 551-563, 1980.