

## ELABORACION, POR PROGRAMACION LINEAL, DE NUEVOS PRODUCTOS A PARTIR DE CEREALES Y LEGUMINOSAS<sup>1</sup>

*Martha N. Ballesteros,<sup>2</sup> Gloria M. Yépez,<sup>3</sup> María I. Grijalva,<sup>3</sup>  
Enrique Ramos<sup>4</sup> y Mauro E. Valencia<sup>5</sup>*

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.  
(CIAD, A. C.), Hermosillo, Sonora, México

### RESUMEN

Debido a las diferencias de aporte de aminoácidos esenciales entre los cereales y las leguminosas, su complementación trae consigo, consecuentemente, un aumento en la calidad de la proteína resultante. El presente trabajo, describe la formulación —mediante programación lineal— de una mezcla factible para elaborar productos a base de cereales y leguminosas. La mezcla

---

Manuscrito modificado recibido: 7-7-83.

- 1 Este trabajo se llevó a cabo bajo el patrocinio de la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la Secretaría de Educación Pública, y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. Fue presentado en: XIII Congreso Nacional de la Asociación de Tecnólogos en Alimentos de México, A. C., octubre de 1982.
- 2 Asistente de Investigación del CIAD, A. C. Tesis de Licenciatura, Universidad de Sonora, México.
- 3 Asistentes de Investigación del mismo CIAD, A. C.
- 4 Investigador Titular del citado Centro.
- 5 Investigador Titular del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD, A. C.), Apartado Postal 1735, Hermosillo, Sonora, México.

se formuló de modo que su costo fuese mínimo, bajo dos tipos de restricciones: una desde el punto de vista nutricional (un patrón dado de aminoácidos esenciales), y otro de factibilidad tecnológica (características de la mezcla de acuerdo al tipo de producto a elaborar). Con la mezcla obtenida (trigo, garbanzo, sorgo y soya) se desarrollaron tres tipos de productos: tortillas, pan y galletas, de los que el pan fue escogido para evaluaciones posteriores. El producto se evaluó químicamente mediante análisis proximal y determinación de su contenido de aminoácidos (por cromatografía de líquidos de alta presión). La evaluación biológica se hizo valiéndose del PER y del RPV, obteniéndose 1.69 de PER para el producto, y 0.68 para el pan de trigo. Los resultados correspondientes al producto fueron 64.31% con respecto a lactalbúmina, y 23.00% para pan de trigo, lo que representa un incremento de 41%. Las pruebas de evaluación sensorial de sabor, textura, color y aceptación general, no acusaron ninguna diferencia significativa con respecto al pan de trigo convencional, el cual fue utilizado como testigo.

## INTRODUCCION

El mejoramiento de la "calidad proteínica" vía la complementación de fuentes de cereales y leguminosas, es motivo de preocupación constante y evidente, según lo atestigua la literatura (1-3). Para ello se ha utilizado como base el conocimiento de la composición de aminoácidos esenciales de las diferentes fuentes, dado el avance que se ha logrado en términos de esta información. Conjuntamente, para efectos comparativos se ha utilizado el cómputo químico basado en la composición del huevo (4), y el cómputo proteínico que se funda en los criterios establecidos por el Comité Mixto de Expertos FAO/OMS (5).

En algunos estudios se ha propuesto el uso de formulaciones óptimas basadas en el cómputo químico (6, 7). Más recientemente, sin embargo, otras investigaciones (8) han propuesto el uso de un método computarizado-gráfico, para evaluar la calidad de proteína de mezclas en relación con el costo. El método anterior, sin embargo, tiene ciertas limitaciones en cuanto al número de ingredientes manejables a un mismo tiempo. Asimismo, se ha dado cuenta de la utilización del balance de aminoácidos en formulaciones de mezclas para humanos basadas en cereales, leguminosas y leche, por medio de programación lineal (9).

Por otro lado, la industria agropecuaria, sobre todo en lo referente a producción animal, ha venido utilizando técnicas de optimización de mayor flexibilidad y capacidad para la formula-

ción de alimentos balanceados a costo mínimo (10). A pesar de lo extenso de la aplicación de estas técnicas —que enfocan principalmente los aminoácidos, además de proteína y energía como los nutrientes más importantes en la formulación— no se ha aprovechado todo el potencial de la programación lineal en el desarrollo de nuevos productos para consumo humano.

El avance tecnológico en las computadoras ha logrado reducir el costo de las mismas y, por lo tanto, el del acceso a tan útil herramienta. Consecuentemente, la programación lineal viene a ser hoy en día una técnica accesible y de alta disponibilidad.

Este trabajo tuvo como objetivo establecer una metodología para impulsar el desarrollo de formulaciones de nuevos productos por medio de programación lineal. Esta técnica de investigación de operaciones permite optimizar una función objetivo, como es la minimización del costo del producto, imponiendo ciertas características o restricciones tales como nivel de aminoácidos esenciales y factibilidad de procesamiento de acuerdo al tipo de producto a elaborar.

El pan tipo casero o Virginia, como se le llama en Sonora, México, es una de las formas comunes de consumir el trigo. Por este motivo, se decidió elaborar un producto de panificación utilizando una mezcla de cereales y leguminosas de cultivo regional en Sonora.

## MATERIALES Y METODOS

### *Formulación del Modelo de Programación Lineal*

El propósito fundamental de la aplicación del método de programación lineal (PL), en este caso, fue el de elaborar una mezcla de costo mínimo a partir de cereales y leguminosas, que cumpliera con un nivel predeterminado de los aminoácidos esenciales lisina y metionina (que son los más limitantes en estas fuentes) y que, además, se pudiera utilizar en panificación.

La estructura de un modelo de PL consta de dos partes que expresan algebraicamente el problema a resolver. La primera consiste en una ecuación que, en este caso, representa la suma de los costos de los ingredientes de la mezcla, suma que se desea minimizar. A esta ecuación se le conoce como *función objetivo*. La segunda parte del modelo está integrada por una serie de ecuaciones que representan las condicionantes a que se sujetará la composición de

la mezcla resultante. A dicho conjunto de ecuaciones se les denomina *restricciones*.

El primer paso para la formación del modelo de PL fue seleccionar y definir las variables y coeficientes que conformarían la función objetivo:

$$\min Z = \sum_{i=1}^{i=n} C_i X_i$$

donde: Z es el costo por kilogramo de mezcla.

$C_i$  es el costo del ingrediente  $i$  en pesos mexicanos (véase la Tabla 1), y

$X_i$  es la proporción en que el ingrediente  $i$  se introduce en el producto de la mezcla, expresado en kg.

Para elaborar la harina se utilizaron los siguientes ingredientes: 1) harina comercial de trigo (*Triticum sativum*); 2) harina obtenida a partir de pasta de soya (*Glicine max*), desgrasada comercialmente, con 48% de proteína; 3) garbanzo (*Cicer arietinum*) molido en el laboratorio a un grosor de menos 20 mallas, y 4) sorgo (*Sorghum spp*) molido en laboratorio también a menos 20 mallas.

Las variables de decisión que intervienen en el modelo quedan establecidas de la manera siguiente:  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , y  $X_4$  son las proporciones en las que se incorporan a la mezcla las harinas de trigo, soya, garbanzo y sorgo, respectivamente.

El siguiente paso consiste en definir las restricciones, las cuales se agruparon en dos conjuntos:

En primer lugar se describe el conjunto de restricciones asociadas a las características tecnológicas de la mezcla producto, y las cuales son:

1) El contenido de trigo de la mezcla debe ser elevado, para conservar las características de manejo de una harina de trigo tradicional.

2) La cantidad de harina de soya y garbanzo no debe sobrepasar el 10% cada una, respectivamente, por problemas de sabor y contenido de fibra de garbanzo que podrían afectar las propiedades reológicas del producto. Sin embargo, estos dos ingredientes proporcionan un aporte sustancial de lisina.

3) La cantidad de sorgo —al menos de un 3%— tratándose de introducir un grano de bajo costo y de uso no convencional en la alimentación humana de México.

**TABLA 1**  
**IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS INGREDIENTES**  
**Y SUS COSTOS**

Ingrediente o variable de decisión	Costo \$/kg <sup>a</sup>	Cantidad aportada <sup>b</sup>	
		Lis (%)	Met (%)
Harina de trigo (X <sub>1</sub> )	4.60	0.40	0.19
Harina de soya (X <sub>2</sub> )	9.45	3.18	0.72
Harina de garbanzo (X <sub>3</sub> )	9.00	1.05	0.16
Harina de sorgo (X <sub>4</sub> )	2.99	0.22	0.12

<sup>a</sup> Precios oficiales a julio de 1981 (Pesos Mexicanos).

<sup>b</sup> Expresado como % del total.

Las ecuaciones representativas de este grupo de restricciones, son:

$$\begin{aligned} X_2 &\leq 0.1 \\ X_3 &\leq 0.1 \\ X_4 &\geq 0.03 \end{aligned}$$

El segundo grupo de restricciones se estableció a fin de cumplir con el requisito de que la mezcla tuviese un nivel determinado de lisina y metionina. Dichas restricciones fueron establecidas para que la concentración de estos dos aminoácidos en el producto fuese similar a los niveles que figuran en el patrón de FAO/OMS (5), y en las estimaciones de los requerimientos de aminoácidos para humanos del Food and Nutrition Board (FNB) (10). Estos valores se fijaron en 0.50% de metionina (equivalente a 2.84g/16gN a 17.6% de proteína) y en 1.2% de lisina (equivalente a 6.8g/16g de N a 17.6% de proteína). Las ecuaciones de estas restricciones quedan como sigue:

$$\begin{aligned} \sum a_i &\geq 0.5 \\ \sum b_i &\geq 1.2 \end{aligned}$$

donde: a<sub>i</sub> y b<sub>i</sub> son los porcentajes de metionina y lisina en el ingrediente i, respectivamente.

Además de las restricciones mencionadas, la mezcla debe cumplir el balance de materiales:

$$\sum X_i = 1$$

Si se tomaban en cuenta las cuatro variables de decisión (trigo, soya, garbanzo y sorgo), sujetas a las restricciones del primer grupo, el resultado obtenido no podría cumplir con el segundo grupo de restricciones (nivel de lisina y metionina) a menos que se utilizara soya únicamente.

Por esta razón, se acordó incluir, como ingredientes de la dieta, lisina pura ( $X_5$ ) y metionina pura ( $X_6$ ). A estos dos ingredientes se les asignaron costos ficticios sumamente elevados, de manera que se fuerza al modelo a obtener la mayor cantidad posible de dichos aminoácidos por medio de los ingredientes originales (trigo, soya, garbanzo y sorgo). En la Tabla 2 (complemento de la Tabla 1) se expone la descripción de estos nuevos ingredientes, así como el costo ficticio que se les asignó.

TABLA 2

IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE INGREDIENTES Y COSTOS  
(COMPLEMENTARIA)

Ingrediente o variable de decisión	Costo \$/kg <sup>a</sup>	Cantidad aportada <sup>b</sup>	
		L-Lis	DL-Met
DL-Metionina ( $X_5$ )	10,000	0.0	95.00
L-Lisina ( $X_6$ )	10,000	99.0	0.00

<sup>a</sup> Precios ficticios (Pesos Mexicanos).

<sup>b</sup> Expresado como %o del total.

Sustituyendo en las ecuaciones de la *Función objetivo* y las *restricciones*, los valores numéricos de las Tablas 1 y 2, el modelo queda como sigue:

*Función objetivo*

$Z_{\min} = 4.60 X_1 + 9.45 X_2 + 9.00 X_3 + 2.99 X_4 + 1 \times 10^4 (X_5 + X_6)$  sujeta a las restricciones

- 1)  $X_2 \leq 0.1$
- 2)  $X_3 \leq 0.1$
- 3)  $X_4 \geq 0.03$
- 4)  $0.19 X_1 + 0.72 X_2 + 0.16 X_3 + 0.12 X_4 + 95.00 X_5 \geq 0.5$
- 5)  $0.40 X_1 + 3.18 X_2 + 1.05 X_3 + 0.22 X_4 + 99.00 X_6 \geq 1.2$
- 6)  $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 = 1.0$

A pesar de que el perfil FAO/OMS incluye metionina + cisteína, la ecuación número 4 del modelo sólo consideró metionina.

*Elaboración del Producto*

A la mezcla de harinas obtenida por el método anterior se le nombró Cali. Con esa harina se procedió a elaborar un pan tipo Virginia de acuerdo a las siguientes proporciones: harina, 54.25%; grasa vegetal, 5.43%; levadura, 1.81%; sal, 0.55%; azúcar, 10.84%; y agua, 27.12%. Luego se mezclaron los ingredientes, dándosele un amasado en una mezcladora Hobart 200-T durante 10 minutos. La masa obtenida se dejó reposar durante 1 hora 30 minutos. Después del reposo se amasó ligeramente, moldeándola para el horneado, el cual se hizo en un horno de panadería a la temperatura de 225°C durante 30 minutos. Bajo estas mismas condiciones se elaboró pan de trigo convencional. Aunque se prepararon también galletas y tortillas a partir de la harina, en esta oportunidad sólo se discutirá el producto de panificación.

*Evaluación Química*

Se determinó el contenido de aminoácidos de las harinas de trigo y de Cali mediante cromatografía de líquidos de alta presión, con un Cromatógrafo Spectrophysics 8000-B, y utilizando 0-Ftalaldehído (12). Los análisis de proteína, grasa, humedad, fibra y cenizas se realizaron de acuerdo a los métodos estándar de la AOAC (13) y de la AACC (14).

### *Evaluación Biológica*

El índice de eficiencia proteínica (PER) se determinó según el procedimiento establecido por la AOAC (13), pero modificado en cuanto a la utilización de animales hembras y machos. Se usaron ratas Sprague Dawley recién destetadas, las que se alojaron en jaulas individuales de acero inoxidable, con alimento y agua *ad libitum*, a una temperatura de  $22^{\circ}\text{C} \pm 1$ , y una humedad relativa que fluctuaba entre 55 y 65%, durante 28 días experimentales. La dieta testigo fue caseína ANRC y se suministró al 8% en todas las dietas, debido a que con pan de trigo no era posible formular al 10% de proteína.

El valor relativo de proteína (RPV) se determinó de acuerdo a Hegsted y Chang (15). Los niveles de proteína se fijaron en 3.5, 5.5 y 7.5% para pan de trigo, pan Cali y lactalbúmina como testigo. Se utilizaron cuatro ratas recién destetadas (dos hembras y dos machos), por cada nivel de proteína, siendo la duración del experimento de 21 días. Las condiciones restantes fueron iguales que las aplicadas en la determinación del PER.

Las dietas en los dos ensayos se prepararon secando el pan en una estufa de convección forzada por un período de 24 horas, a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ .

Las dietas se molieron utilizando un tamiz con malla #10, y para lograr una distribución uniforme se usó una mezcladora Hobart. La composición de la dieta basal se presenta en la Tabla 3. Las fuentes de proteína se agregaron a los niveles especificados, y se diluyó el 100% con almidón.

### *Evaluación Sensorial*

La evaluación sensorial de los productos elaborados —pan Cali y pan de trigo— se llevó a cabo valiéndose de una prueba de aceptación-preferencia, utilizando escala hedónica facial según las recomendaciones de Larmond (16).

### *Diseño Experimental*

*Índice de eficiencia proteínica (PER)* Este se diseñó como bloques al azar, utilizando como bloque la variable sexo, tres tratamientos (caseína, pan de trigo y pan Cali), y 10 repeticiones en cada tratamiento. Las unidades experimentales fueron asignadas al azar a los tratamientos, de acuerdo al modelo:

TABLA 3  
COMPOSICION DE LA DIETA BASAL

Ingredientes	%
Aceite de maíz	9.5
Vitaminas <sup>a</sup>	1.0
Minerales <sup>b</sup>	5.0
Cloruro de colina	0.2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (como marcador)	0.2
Celulosa	1.0
Dextrosa	9.0

<sup>a</sup> Las vitaminas suplen lo siguiente por kg de dieta: 10,000 UI de palmitato de retinol; 960 UI de colecalciferol; 8.8 UI de DL acetato de tocoferil; 0.005 de etoxiquinona; 0.00088 de HCl.tiamina; 0.0012 de riboflavina; 0.00152 de D-pantotenato de calcio; 0.0004 de HCl.piridoxina; 0.0020 de ácido p-aminobenzoico; 0.100 de inositol; 0.0088 de niacina; 0.2206 de cloruro de colina; 0.0038 de vitamina B<sub>12</sub>; 0.00002 de biotina; 0.002 de ácido fólico, y 0.00066 de menadiona.

<sup>b</sup> Minerales suplen lo siguiente, en mg/kg de dieta: 40.0 de hierro; 120.0 de zinc; 2.0 de molibdeno; 120.0 de manganeso; 336.0 de calcio; 8.0 de cobre; 3.0 de yodo, y 3.0 de cobalto.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

Para probar la hipótesis de igualdad de tratamientos, se utilizó análisis de varianza, Ho:  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$ .

#### *Valor Relativo de Proteína (RPV)*

Los animales se asignaron al azar a los diferentes tratamientos, destinando cuatro ratas a cada nivel de proteína. Luego los resultados del RPV se evaluaron mediante un análisis de covarianza (17).

#### *Evaluación Sensorial*

Para analizar las diferencias en cuanto a sabor, textura, aceptación y color entre pan Cali y pan de trigo, se diseñó un experi-

mento en el que participaron 10 panelistas no entrenados, de ambos sexos y de diferentes edades, en el que cada panelista evaluó dos muestras de cada tipo de pan sin conocer de qué tipo era. Los datos se registraron en escala hedónica de uno a siete, y se analizaron por separado para cada atributo de interés, mediante un diseño de bloques al azar con dos repeticiones por tratamiento y considerando los panelistas como bloques.

El testigo (pan de trigo) y el pan de prueba, fueron duplicados como muestras independientes para todas las pruebas exceptuando la del calor, la cual se analizó valiéndose de una prueba de "t" (pareada) para diferencia de medias.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La harina Cali obtenida mediante PL, quedó en las siguientes proporciones: 76.25% de harina de trigo, 10% de harina de garbanzo, 10% de harina de soya, 3% de harina de sorgo, 0.47% de lisina y 0.28% de metionina. Los aminoácidos puros fueron substituidos por harina de trigo, ya que no eran ingredientes a añadir en la mezcla propiamente. Ello no era posible en vista de que se utilizaron con costos ficticios para forzar al modelo a obtener la mayor cantidad posible de estos aminoácidos a partir de los ingredientes originales.

### *Evaluación Química*

Los resultados del análisis proximal, así como el contenido de aminoácidos esenciales de la harina Cali, se exponen en la Tabla 4. El contenido de proteína del pan elaborado con dicha harina se redujo a 12.60%, debido a la dilución con los demás ingredientes.

El costo de la mezcla Cali con los precios oficiales vigentes en México, al formular el producto, fue de \$5.43/kg en contraste con \$4.60/kg de harina de trigo, diferencia que representa sólo un 18% de aumento sobre el costo de la harina de trigo. La ventaja de la aplicación del método de programación lineal radica en su dinámica, pues permite realizar cambios en el tiempo debido a problemas de cambio de precios y disponibilidad de insumos. La harina Cali, aunque costosa cuando se sometió a prueba en el desarrollo del modelo, no resulta serlo realmente debido a los cambios registrados en los precios oficiales y las demandas del mercado internacional de garbanzo.

TABLA 4

COMPOSICION DE LA MEZCLA CALI (HARINAS DE TRIGO,  
GARBANZO, SORGO Y SOYA)

Nutriente	Cantidad	
	g/16 g de N	g 100 g
Proteína	—	17.61
Extracto etéreo	—	2.03
Fibra cruda	—	3.24
Calcio	—	0.07
Fósforo total	—	0.35
<i>Aminoácidos indispensables</i>		
Lisina	4.14	0.73
Metionina	1.25	0.22
Metionina + cisteína	2.92	0.52
Triptofano	1.25	0.22
Fenilalanina	4.35	0.77
Tirosina	3.06	1.26
Leucina	6.48	1.14
Isoleucina	4.06	0.72
Treonina	2.73	0.48
Valina	4.36	0.77

*Indice de Eficiencia Proteínica (PER)*

El experimento, según se dijo, fue diseñado como bloques al azar, utilizando la variable sexo como bloque; ello permitió eliminar el efecto sexo de la suma de cuadrados del error. En vista de que se tenía más de una repetición para cada tratamiento, se hizo una prueba de determinación de interacciones entre bloques y tratamientos. Al no encontrarse interacción, la suma de cuadrados de interacciones se agrupó en un solo renglón, formando una nueva suma de cuadrados del error con 26 grados de libertad.

Aun cuando bajo este diseño no se pueden probar en términos estrictos diferencias significativas entre los niveles de la variable utilizada como bloque, la diferencia entre las medias observa-

das para ratas macho y ratas hembras fue muy pequeña.

Se rechazó la hipótesis de igualdad de tratamientos y se aplicó una prueba de Newman-Keuls (18, 19), como prueba de múltiple rango. Esta reveló diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre el pan Cali y caseína, así como entre el pan Cali y el pan de trigo convencional. Los datos de PER y porcentajes proteínicos se muestran en la Tabla 5.

TABLA 5

INDICE DE EFICIENCIA PROTEINICA AL 80% DE PROTEINA  
EN LA DIETA (N x 6.25)

Fuente de proteína	Media incremento de peso (g) 28 días	Media de la proteína consumida (g) 28 días	Media <sup>a</sup> del PER
Caseína ANRC (82.12% de proteína)	56.20	19.34	2.87 <sup>a</sup> ± 0.51
Pan Cali (12.60% de proteína)	36.42	21.50	1.69 <sup>b</sup> ± 0.18
Pan de trigo (9.36% de proteína)	10.80	19.57	0.69 <sup>c</sup> ± 0.12

<sup>a</sup> Las medias con diferentes superíndices son significativamente distintas ( $P < 0.01$ ).  
Las medias del PER fueron calculadas en base a las repeticiones individuales.

El valor del PER del pan de trigo convencional observado, 0.69, es similar a otros notificados en la literatura (20), donde se informa un PER de 0.70. Por otro lado, el PER del pan Cali, 1.69, es similar al valor de un pan enriquecido con 0.30% de lisina (1.79), según dan cuenta Wojick y Delorme (20).

*Valor Relativo de Proteína (RPV)*

Los valores de RPV obtenidos para el pan Cali, muestran un aumento de 400/o aproximadamente en contraste con el de pan de trigo convencional. Para el análisis global de las tres ecuaciones de regresión se utilizó un análisis de covarianza (17), que prueba k líneas de regresión para diferencia de pendientes. El análisis rechazó la hipótesis de igualdad de tratamientos y se optó por una prueba de Newman-Keuls (18, 19) (Véase Tabla 6).

TABLA 6

## VALOR RELATIVO DE PROTEINA (RPV) PARA PAN CALI Y PAN DE TRIGO

Fuente de proteína	Pendiente	Constante	Coefficiente de correlación	Nivel de significancia ( $\alpha$ )	RPV <sup>a</sup>
Lactoalbúmina	4.82	-14.3	0.95	< 0.001	100 <sup>a</sup>
Pan Cali	3.11	-12.6	0.91	< 0.001	64 <sup>b</sup>
Pan de trigo	1.11	- 5.6	0.95	< 0.001	23 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Los RPV con diferentes superíndices son significativamente distintos ( $P < 0.01$ ).

*Evaluación Sensorial*

No se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre el pan Cali y el pan de trigo en cuanto a sabor, textura, aceptación y color, y en general, el producto ha tenido buena aceptación y ha despertado bastante interés entre el gremial de panaderos como un producto de venta potencial.

El producto contiene mayor cantidad de proteína que el pan de trigo; la calidad de la proteína mejoró en 400/o aproximadamente, y es el más barato posible, dentro del marco de restricciones impuestas en el desarrollo del modelo de optimización. Independientemente de ello, la metodología es versátil y permite la elaboración de diferentes productos, minimizando los costos y

controlando la uniformidad del producto terminado.

Debido al tipo de ingredientes utilizados, es necesario determinar factores potencialmente tóxicos y analizarlos más detenidamente, en función de las características del procesamiento. Queda también pendiente la ejecución de las pruebas reológicas básicas.

### SUMMARY

#### ELABORATION OF NEW PRODUCTS BASED ON CEREALS AND LEGUMES BY LINEAR PROGRAMMING

The differing contents of essential amino acids in cereals and legumes bring about an overall increase in protein quality when these foods are consumed together. This study describes a least cost formulation method for preparing products based on cereals and legumes using linear programming. The mixture was formulated under different constraints; from a nutritional standpoint, a given amino acid pattern, and another one on a technological feasibility constraint, which depends on the type of product to be elaborated. From the formulation based on wheat, chick-pea, sorghum, and soybean flours, three products were developed: bread, tortillas and cookies; from these, bread was selected for further evaluation. The product was chemically evaluated by proximate analysis composition, and amino acids were determined by HPLC. Biological evaluation was performed by the PER and RPV methods, obtaining a PER of 1.69 for the developed bread product, and of 0.68 for the control bread. The RPV for the developed product was 64.31% of lactalbumin and 23% for the control bread, which represents an increase of 41%. The sensory evaluation results did not indicate significant differences in taste, texture, color or overall acceptability of the developed bread product as compared to the control.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento por su valiosa cooperación en el desarrollo de este trabajo a Fernando Juvera y José Manuel Guillén. Asimismo, a Martha O. Espinoza por la transcripción del manuscrito, y nuestro reconocimiento a Carlos Peña por sus acertados comentarios y discusiones.

## BIBLIOGRAFIA

1. Valencia, M. E., M. G. Vavich, Ch. W. Weber & B. L. Reid. Protein quality evaluation of corn tortillas, wheat flour tortillas, pinto beans, soybeans and their combinations. *Nutr. Repts. Internat.*, **19**: 195-201, 1979.
2. Bressani, R., L. G. Elías & J. E. Braham. Improvement of the protein quality of corn with soybean protein. En: **Nutritional Improvement of Food and Food Proteins**. M. Friedman (Ed.). New York, N. Y., Plenum Press, 1978 (Advances in Experimental Medicine and Biology, vol. 105).
3. Yáñez, E. **Enriquecimiento de Alimentos Tradicionales con Proteínas Vegetales en América Latina. Análisis del Seminario**. Washington, D. C., OEA, 1977, p. 87-101.
4. Block, R. L. J. & H. H. Mitchell. The correlation of the amino acid-composition of proteins with their nutritive value. *Nutr. Abstr. Revs.*, **16**: 249-252, 1946.
5. **Energy and Protein Requirements**. Report of a Joint FAO/WHO *ad hoc* Expert Committee, Rome, 22 March-2 April, 1971. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1973, 20 p. (FAO Nutrition Meetings Reports Series No. 52; WHO Technical Report Series No. 522).
6. Hayes, R. E., J. I. Wadsworth & J. J. Spadaro. Corn and wheat-based blended food formulations with cottonseed or peanut flour. *Cereal Foods World*, **23**: 548-550, 1978.
7. Wodsworth, J. I., R. E. Hayes & J. J. Spadaro. Optimum protein quality food blends. *Cereal Foods World*, **24**: 274-276, 1979.
8. Traver, L. E., G. N. Bookwalter & W. F. Kwolek. A computer based graphical method for evaluation of protein quality of food blends relative to cost. *Food Technol.*, **35**: 72-78, 1981.
9. Cavins, J. F., G. E. Inglett & J. S. Wall. Linear programming controls amino acid balance in food formulation. *Food Technol.*, **26**: 46-49, 1972.
10. Beneke, R. R. & R. Winterboer. Linear programming applications to agriculture. En: **Feeds & Nutrition-Complete**. M. E. Ensminger & C. G. Olentine (Eds.). The Ensminger Publishing Co., 1973, p. 571-576.
11. Food and Nutrition Board-National Research Council. **Improvement of Protein Nutriture**. Washington, D. C., National Academy of Sciences, 1975, p. 201.
12. Lindroth, P. & K. Hopper. High performance liquid of chromatographic determination of subpicomole amounts of amino acids by

- precolum fluorescence derivatization with O-phthaldialdehyde. *Anal. Chem.*, **51**: 1667-1674, 1979.
13. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 13th ed. Washington, D. C., The Association, 1980, p. 774.
  14. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. 14th ed. St. Paul, Minnesota, The Association, 1976, p. 1062-1962.
  15. Hegsted, D. M. & Y. Chang. Protein utilization in growing rats; relative growth index as a bioassay procedure. *J. Nutr.*, **85**: 157-167, 1965.
  16. Larmand, E. **Laboratory for Sensory Evaluation of Food**. Food Research Institute, Research Branch Canada Department of Agriculture Publication 1637, 1977.
  17. Zar, J. H. Comparing simple linear regression equations. En: **Biostatistical Analysis**. New Jersey, Engelwood Cliffs, 1974, p. 228-230.
  18. Newman, D. The distribution of range in sample from a normal population, expressed in terms of and independent estimate of standard deviation. *Biometrika*, **31**: 30-33, 1939.
  19. Keuls, J. The use of the "Sutentized range" in connection with analysis of variance. *Euphytica*, **1**: 112-122, 1952.
  20. Wojcik, J. & C. B. Delorme. The effect of dietary cellulose level on the utilization of amino acid-supplemented bread protein by weanling rats. *Nutr. Repts. Internat.*, **25**: 709-718, 1982.
  21. Hegsted, D. M. & Y. Chang. Protein utilization in growing rats at different levels of intake. *J. Nutr.*, **87**: 19-25, 1965.