

Publicación INCAP PCE/016

## Elaboración de harinas procesadas de semilla de gandul

*Carolina Mueses<sup>1</sup>, Leonardo de León<sup>2</sup>, Jorge Matute<sup>3</sup>,  
y Ricardo Bressani<sup>4</sup>*

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

**RESUMEN.** El gandul es una leguminosa de alto nivel de producción y de relativo buen valor nutritivo, que no ha sido utilizada en América Latina, de acuerdo al potencial que ofrece. En el presente trabajo se estudió la posibilidad de procesar el grano de gandul para dar origen a una harina intermedia con funcionalidad apropiada para el desarrollo de productos alimenticios. La harina de gandul se produjo a través de un proceso eficiente de descascarado y luego a través de un proceso térmico que mejora su funcionalidad y su valor nutritivo. El mejor método de descascarado fue a través de someter el grano a 5 min. de escaldado, secado con aire a 60°C durante dos horas y luego el descascarado con un molino pulidor de 8 discos, durante 10 minutos. El rendimiento fue de 84% con una eficiencia de descascarado del 70.7%. Para la preparación de las harinas de gandul los procesos térmicos estudiados fueron cocción a presión (15 lb) por 5 y 10 minutos, como referencia; cocido y secado por rodos a 120°C a una velocidad de 4 rpm, y por cocción-extrusión con el material al 18 y 21% de humedad a 270° y 300° F, respectivamente. La selección del proceso se hizo por medio de medidas funcionales, como capacidad de absorción de agua (WAI), solubilidad en agua (WSI), nitrógeno soluble y viscosidad; a través de medidas químicas como proteína total, lisina y metionina disponibles e inhibidores de tripsina, y por medio de una evaluación biológica para digestibilidad y calidad de la proteína. El producto preparado por cocción a presión durante 5 minutos fue nutricionalmente mejor que el de 10 minutos, sin existir diferencias en características funcionales y químicas. El producto secado por rodos fue muy bueno en funcionalidad y apariencia, sin embargo, no fue posible destruir totalmente los inhibidores de tripsina. Los productos de la cocción-extrusión mostraron buena calidad nutritiva y propiedades funcionales atractivas, siendo la mejor la producida a 300°F con una humedad de la harina cruda del orden de 18%. Los tres procesos son adecuados para producir harinas intermedias de gandul de calidad química funcional y nutritivamente adecuada.

**SUMMARY.** Production of flours processed with pigeon pea grains. Pigeon pea is a legume grain of good production capacity and of a relatively high nutritive value, which has not been used in Latin America on the basis of the potential it offers. In this study experiments were conducted to learn about the possibility of processing pigeon pea to yield an intermediate flour with good functional characteristics for food product development. The intermediate pigeon pea flour was produced through a selection of a process to efficiently dehull the grain followed by a thermic process to improve its functional properties and nutritive value. The best dehulling process was subjecting the grain to a vapor treatment for five minutes, followed by a 2-hour dehydration of surface moisture with air at 60° and dehulling with an 8-disc dehuller for 10 minutes. Yield was 84% with 70.7% dehulling efficiency. Pigeon pea flours were prepared by three thermic processes: pressure cooking at 15 lb (121°C) for 5 and 10 minutes as a reference product; cooking and drying with a drum dryer at 120°C and 4 rpm and by extrusion-cooking with the material with 18 and 21% moisture at 270 and 300°F, respectively. Process selection was based on the functional properties such as water absorption index, water solubility index, soluble nitrogen and viscosity, through chemical analysis of protein, available lysine and methionine and residual trypsin inhibitors, and through a biological evaluation of protein digestibility and quality. Both pressure cooking products had similar functional and chemical characteristics, however, the 5-minute cooked product has higher protein quality than the 10-minute product. The drum-dried product was highly acceptable in terms of chemical composition, appearance and functionality. However, the levels of trypsin inhibitors were high. Flours produced by extrusion-cooking had good nutritional properties and functional characteristics, with the best pigeon pea flour derived from the material adjusted to 18% moisture and processed at 300°F. All the three processes were found to be adequate to produce an intermediate pigeon pea flour of high nutritive value and good functional properties for food product development.

1. Estudiante del Curso de Postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, INCAP. (M. Sc.) 1991.

2. Investigador, División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos, INCAP. Guatemala.

3. Estadístico asignado a la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos, INCAP.

4. Coordinador de Investigación en Ciencias Agrícolas y de Alimentos, INCAP.

## INTRODUCCION

El gandul (*Cajanus cajan*) es una leguminosa no convencional, considerada como una fuente importante de nutrientes, la cual podría constituirse en una alternativa para proporcionar una dieta balanceada para las poblaciones de bajos ingresos. Asimismo, podría servir como materia prima para la agroindustria alimentaria. Esta planta posee características de adaptación y manejo que permiten cultivarla en diversas condiciones de suelo y clima. En algunas regiones de América Latina, en particular los países del Caribe usan el grano inmaduro como arveja y además es enlatado (1).

El contenido proteico del gandul varía dependiendo de la especie, y se encuentra entre 15.5 y 28.8% en el grano maduro y entre 7.0 y 23.0% en el grano tierno. Su contenido de carbohidratos totales varía entre 57.3 y 58.2% de los cuales la mayor proporción la constituye el almidón (2-6).

El gandul contiene de 1.2 a 8.1% de fibra cruda, de la cual la hemicelulosa y la celulosa son los componentes predominantes (2).

El contenido total de lípidos se encuentra entre 0.6 y 3.8%. El gandul es una buena fuente de minerales como calcio, fósforo, magnesio, hierro, azufre y potasio (2). Al igual que otras leguminosas, el gandul es una buena fuente de vitaminas solubles en agua, especialmente tiamina, riboflavina, niacina y colina.

La composición de aminoácidos de la proteína del gandul ha sido estudiada extensivamente (2,5,6). Al igual que otras leguminosas, la proteína del gandul es deficiente en metionina y triptófano y rica en lisina (2).

Por consiguiente, desde el punto de vista práctico, el gandul puede constituirse en una fuente adicional de proteína ya que su valor nutritivo se compara favorablemente al del frijol común (2,4).

La información que está disponible sobre digestibilidad de la proteína del gandul es muy variable. Estudios llevados a cabo por Singh y col. (7) han informado que la digestibilidad del grano verde (66.8%) fue mejor que en el grano maduro (58.5%). Sin embargo, estudios realizados por Bressani y col (3) informaron valores muy parecidos para el gandul maduro crudo (77.2%) y el verde crudo (76.0%).

El gandul contiene varios factores tóxicos o antinutricionales, como los inhibidores de tripsina y de amilasa, compuestos fenólicos, fitatos, compuestos cianogénicos, lectinas y saponinas (2).

Los inhibidores de tripsina están ampliamente distribuidos en las plantas y se sabe que el valor nutritivo y la digestibilidad de las leguminosas se ven afectados por estos factores a menos que estas sean sometidas a tratamientos térmicos (8-13).

En nuestros países no existen harinas que puedan servir como productos intermedios que puedan ser utilizadas como sustitutos de la harina de trigo, en la elaboración de productos finales para el consumo. Varios autores (3,14-20) han informado sobre el uso de harinas de leguminosas de grano en

diversidad de productos. El propósito del presente estudio fue evaluar la posibilidad de procesar leguminosas para producir harinas precocidas, las cuales, además de garantizar la disponibilidad constante y con funcionalidad específica, servirían para la preparación de alimentos para consumo humano.

## MATERIALES Y METODOS

La materia prima utilizada para el trabajo fue gandul (*Cajanus cajan*) adquirido en el mercado local.

El trabajo se llevó a cabo en varias fases las cuales se describen a continuación:

*Fase I:* Consistió en optimizar el proceso de descascarado. Para esto se utilizó una pulidora de 8 discos marca MENG con capacidad de 6 kg, activada por un motor eléctrico de 3HP y 1,730 rpm; La eficiencia del descascarado se evaluó por medio de un proceso húmedo y un proceso seco. En el proceso en húmedo el gandul se sometió a un escaldado por 5 min con vapor a 98°C, luego fue secado con aire a 60°C y descascarado durante 5, 10 y 15 min. En el proceso en seco el gandul fue descascarado sin previo procesamiento, también por: 5, 10 y 15 min.

Esta fase fue evaluada a través de tres variables: rendimiento, eficiencia e índice de descascarado. El rendimiento fue calculado como el porcentaje en peso del grano, después de ser sometido al proceso. Para la eficiencia se tomó una muestra de 200 granos de cada lote y se calculó como porcentaje en peso de los granos con más de 75% de la cáscara removida. El índice de descascarado se calculó como el producto del rendimiento por la eficiencia.

*Fase II:* Esta fase consistió en someter el gandul descascarado a tres procesos térmicos: secado por rodos, cocción-extrusión y cocción a presión.

Para el secado por rodos se usó un secador de doble tambor accionado con un motor eléctrico de 1/4 de HP y que trabaja con vapor saturado a una presión de 100 psi y que tenía un área total de secado de 1,658 pies<sup>2</sup>.

El gandul descascarado se molió y se mezcló con agua en proporción 2.5:1 (agua: gandul). Durante el proceso se alcanzaron temperaturas de 120°C. La velocidad de alimentación fue de 4 rpm.

Para el proceso de cocción-extrusión se usó un extrusor autógeno Brady Crop Cooker, modelo 2160 accionado por un motor Caterpillar de 78 HP. La capacidad de operación del extrusor es de 0.5 TM/h. el grano descascarado fue quebrantado estudiándose cuatro condiciones de procesamiento: 18 y 21% de humedad a 270°F y a 300°F, respectivamente.

El proceso de cocción a 15 lb de presión se usó como parámetro de comparación. El grano descascarado entero se sometió al proceso de cocción en agua durante 5 y 10 minutos.

El producto obtenido de las diferentes condiciones fue molido para obtener las harinas.

Las harinas obtenidas mediante los tres procesos térmicos fueron sometidas a evaluación química, funcional y nutricional.

En la evaluación química se hicieron determinaciones de humedad y proteína (21), lisina disponible (22), metionina e inhibidores de tripsina (23). En las pruebas funcionales se estudió: capacidad de absorción de agua (WAI) (24), índice de solubilidad en agua (WAI) (24), nitrógeno soluble en agua y viscosidad determinada, usando un viscosímetro Brookfield con un 10% de sólidos suspendidos en agua. La muestra fue homogeneizada en una licuadora durante 2 minutos y se dejó ebullición 5 minutos. La temperatura de ebullición alcanzada fue de  $90 \pm 5^\circ\text{C}$ ; luego se enfriaron las muestras hasta una temperatura de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  y se determinó la viscosidad variando las velocidades de giro del «spindle» de 100, 50, 10, 2.5 y 0.5 rpm, usando agujas N° 1 ó N° 2 según el caso.

Para la evaluación nutricional de las harinas se realizó un ensayo de NPR (Razón Proteínica Neta) (25). Las dietas se prepararon con 10% de proteína proveniente de las harinas obtenidas, por los diferentes procesos. A cada dieta se le adicionó 4% de minerales, 5% de aceite refinado de algodón, 1% de aceite de hígado de bacalao, 5% de solución de vitaminas y se ajustó 100% con almidón.

Para el ensayo se usaron ratas blancas de la raza Wistar recién destetadas de 21 días de edad, de la colonia animal del INCAP, asignando ocho animales por dieta. Como control se usó una dieta de caseína al mismo nivel proteico y una dieta libre de nitrógeno (DLN). El experimento duró 14 días con alimentación y agua *ad libitum*. Los cambios en peso de las ratas y el consumo de alimentos fueron determinados cada semana. Se llevó a cabo un ensayo de digestibilidad verdadera *in vivo* de la proteína durante los últimos cinco días de la segunda semana.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Fase I. Optimización del proceso de descascarado

Los resultados del proceso de descascarado se describen en la Tabla 1. Se puede observar que el rendimiento del grano fue mayor para el proceso en seco. Sin embargo, este parámetro no fue una buena medida del grado de descascarado para seleccionar el método de descascarado más efectivo. Al tomar esto en consideración, el método húmedo es el superior.

Se realizó un análisis de varianza para establecer si habían diferencias entre el proceso en seco y en húmedo. No se encontró interacción para el rendimiento entre el proceso y el tiempo de residencia ( $P=0.34$ ). Para esta variable hubo diferencias estadísticamente significativas entre el proceso húmedo y en seco ( $P=0.0002$ ) y entre los tres tiempos de residencia estudiados ( $P=0.0001$ ). Para la variable eficiencia de descascarado hubo diferencias entre el proceso en húmedo y en seco, y entre los tres tiempos de residencia estudiados. A pesar de que la interacción entre el proceso y el tiempo de residencia es significativa ( $P=0.0098$ ), no tiene importancia porque no se cruzan los niveles de los factores. Para la variable índice de descascarado, los resultados son los mismos que para la eficiencia de descascarado.

TABLA 1  
RESULTADOS DE OPTIMIZACION DEL PROCESO DE DESCASCARADO (n=3)

Proceso	Tiempo (min)	(1)		(2)		(3)	
		Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE
Seco	5	95	0	14	4	13	4
	10	90	0	24	8	21	7
	15	85	0	25	7	21	6
Húmedo	5	90	0	28	0	25	0
	10	84	1	70	0	59	1
	15	77	3	72	8	54	7

Prom = Promedio en tres muestras

DE = Desviación estándar

$$(1) \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso del grano descascarado}}{\text{Peso inicial del grano con cáscara}} \times 100$$

$$(2) \text{ Eficiencia de Descascarado} = \frac{\text{Peso de granos con un 75\% de cáscara removida}}{\text{Peso de 200 granos con cáscara}} \times 100$$

$$(3) \text{ Índice de Descascarado} = \frac{\text{Rendimiento} \times \text{Eficiencia}}{100}$$

Una prueba de Tukey realizada sobre las variables estudiadas (Tabla 2) muestra que no hay diferencias significativas entre el descascarado durante 10 y 15 minutos ( $P>0.05$ ) de residencia para las variables eficiencia e índice de descascarado, pero el proceso de 5 min de residencia si es diferente ( $P<0.05$ ).

El proceso en seco a pesar de que presenta el mayor rendimiento es el que da la menor eficiencia de descascarado, por lo que el proceso húmedo es más eficiente que el seco. No habiendo diferencias entre 10 y 15 min se decidió usar un tiempo de 10 min que producía un mayor rendimiento, que si es diferente significativamente, con respecto al tiempo de 5 min (Tabla 2).

TABLA 2  
GRADO E INDICE DE DESCASCARADO A TRES DIFERENTES TIEMPOS PRUEBA TUKEY (n=6)

Tiempo	Rendimiento	Eficiencia de descascarado*	Índice de descascarado*
5 min	92.50 a	20.98 a	19.28 a
10 min	87.07 b	47.27 b	37.74 b
15 min	81.05 c	48.95 b	40.42 b
CME (1)	131.22	964.77	532.73

\* Los promedios con la misma letra no son significativamente diferentes. ALPHA = 0.05

(1) CME = Cuadrado medio del error del ANDEVA.

Los resultados obtenidos indican que el proceso óptimo es el húmedo que con un tiempo de descascarado de 10 min produce un rendimiento de 84% y una eficiencia de descascarado de 70% (Tabla 1). Pruebas adicionales indicaron que la eficiencia de descascarado podría mejorarse aumentando la carga de alimentación del grano y usando un grano más uniforme. Asimismo, la humedad al momento de descascarado es importante, lo cual debería ser objeto de futuros estudios.

Los resultados obtenidos concuerdan con los informados en la literatura, para ésta y otras leguminosas de grano (26,27). Es necesario someter el grano a un pre-proceso húmedo para separar la cáscara que está unida al cotiledón a través de una capa de gomas. Se ha indicado (26,27) que la variedad, factores agroclimáticos y tiempo después de la cosecha afectan la eficiencia de descascarado. La Tabla 3 presenta el contenido de algunos nutrientes y algunas características funcionales de la harina de gandul cruda obtenida del descascarado húmedo. Destaca el alto contenido de lisina en este producto.

**TABLA 3**  
**EVALUACIONES QUIMICAS Y FUNCIONALES DE LA HARINA DE GANDUL CRUDA-DESCASCARADA**

Análisis*	Promedio	DE
Humedad, %	9.56	0.50
Proteína, %	22.08	0.15
Lisina (g/16 gN)	7.75	0.21
Metionina (g/16 gN)	1.80	0.01
Inhibidores tripsina (UTI/mg)	24.87	4.40
Nitrógeno soluble en agua (%)	61.72	1.05
Nitrógeno soluble en NaOH, %	97.80	1.05
WAI (ml abs/g materia seca) (1)	1.43	0.01
WSI (%) (2)	27.80	0.26

\* Valores expresados en base seca-Promedios de tres muestras + desviación estandard

(1) WAI = Índice de absorción en agua

(2) WSI = Índice de solubilidad en agua

La cáscara y el polvillo, subproductos del proceso de descascarado fueron sometidos a un análisis proximal. Los resultados se presentan en la Tabla 4. este subproducto muestra un alto contenido de proteína y altos niveles de fibra cruda, el cual es posible utilizar en alimentación animal.

*Fase II.* Los resultados de las pruebas químicas y funcionales de la harina de rodos se muestran en la Tabla 5. La humedad del producto fue de 4.36.% y el contenido de proteína se mantuvo con relación a los valores de la harina cruda descascarada. el contenido de lisina disminuyó en un 18.6% debido posiblemente a reacciones de empardeamiento que pudieron ocurrir con efecto del proceso.

**TABLA 4**  
**ANALISIS PROXIMAL DE LA CASCARA MAS EL POLVILLO SUBPRODUCTOS DE DESCASCARADO**

	Promedio*
Humedad, %	7.34
Proteína, %	12.20
Extracto etéreo, %	0.93
Fibra cruda, %	33.09
Cenizas, %	7.00

\* Promedio de tres repeticiones

**TABLA 5**  
**RESULTADOS DE PRUEBAS QUIMICAS Y FUNCIONALES DEL PRODUCTO DEL PROCESO DE RODOS**

Análisis*	Promedio	DE
Humedad, %	4.36	0.23
Proteína, %	22.30	0.06
Lisina (g/16 gN)	6.31	0.21
Metionina (g/16gN)	1.67	0.31
Inhibidores de tripsina (UTI gN)	27.50	1.76
Nitrógeno soluble en agua (%)	24.08	2.42
Nitrógeno soluble en NaOH (%)	79.93	2.35
WAI (ml abs/g materia seca) (1)	4.84	0.12
WSI (%) (2)	19.64	0.42
Viscosidad (cp) (3)	948	100

\* Valores expresados en base seca

(1) WAI = Índice de absorción de agua

(2) WSI = Índice de solubilidad en agua

(3) Para 10% de sólidos

DE = Desviación estandard

El contenido de metionina se redujo en un 7.2% en la muestra procesada. Los resultados del contenido de inhibidores de tripsina muestran que el proceso de secado por rodos no fue tan efectivo en reducir estos niveles, ya que los valores fueron comparables con los del gandul crudo. Según la literatura (27) en estudios con harina de caupí se ha encontrado, que al aumentar el número de revoluciones por minuto en el secador de rodos no se produce una destrucción completa de los inhibidores de tripsina, debido a que el tiempo de contacto del material con la superficie del rodillo no es suficiente. La velocidad a que fue tratada la suspensión de harina en este estudio fue de 4 rpm, lo que podría sugerir que ésta pudo ser la causa del alto contenido de inhibidores de tripsina en la muestra procesada. Otra posibilidad es que el producto no haya recibido el tratamiento térmico adecuado, debido al descenso de la temperatura del rodo en el momento de la alimentación. También es posible que no haya ocurrido una distribución homogénea del agua adicionada a la harina antes de someterla al proceso, reduciendo así la eficiencia de trans-

ferencia del calor. No obstante los resultados obtenidos en las pruebas químicas, las pruebas funcionales indican que la harina de rodos tiene buena funcionalidad. El nitrógeno soluble en agua (NSA) y soluble en hidróxido de sodio (0.1 N). (NSH) disminuyeron en un 61.0 y 18.3%, respectivamente, por efectos del proceso. El índice de absorción en agua (WAI) aumenta 34 veces, lo cual coincide con los resultados informados en la literatura (28,29).

La disminución de la solubilidad de la proteína en agua se debe a la desnaturalización de la proteína por efecto del calentamiento, un efecto bastante bien reconocido.

El índice de solubilidad en agua (WSI) disminuyó en un 29.3% con el proceso de harina cruda a procesada. Esta variable, que es una medida del grado de modificación de los almidones, es otro indicio de que el proceso no fue suficiente para alterar esta característica.

La harina obtenida por este proceso tenía muy buena apariencia y el color era muy atractivo.

Para el proceso de cocción a presión el contenido de humedad es bajo comparado con el de la harina cruda (Tabla 6). Los resultados estadísticos muestran que hay diferencias significativas ( $P=0.0214$ ) en el contenido de humedad entre el proceso de 5 y 10 min. Para el contenido de proteína no hay diferencias ( $P=0.7977$ ) entre los dos tiempos de cocción y los resultados obtenidos son comparables a los de la harina cruda.

TABLA 6  
RESULTADOS DE PRUEBAS QUIMICAS Y  
FUNCIONALES DEL PROCESO DE  
COCCION A PRESION (n=9)

Análisis*	Cocción 5 min		Cocción 10 min	
	Promedio	DE	Promedio	DE
Humedad, %	4.36	0.20	4.91	0.55
Proteína, %	22.29	0.46	22.24	0.44
Lisina (g/16 gN)	7.26	0.50	7.26	0.16
Metionina (g/16gN)	1.93	0.60	1.83	0.14
Inhibidores de tripsina (UTI/ mg)	0.00	0.00	0.00	0.00
Nitrógeno soluble en agua %	20.77	3.81	19.30	1.70
Nitrógeno soluble en NaOH %	76.97	5.97	58.85	6.02
WAI (ml abs/g materia seca) (1)	2.27	0.30	1.94	0.20
WSI (%) (2)	16.08	1.69	16.94	0.87
Viscosidad (cp) (3)	164	28	185	47

\* Valores expresados en base seca

(1) WAI = Índice de absorción de agua

(2) WSI = Índice de solubilidad en agua

(3) Para 10% de sólidos

DE = Desviación estandard

La lisina prácticamente no es afectada por la cocción, ya que los resultados para 5 y 10 min son iguales y sólo ligeramente más bajos que la harina cruda ( $P=0.9853$ ).

Los resultados de inhibidores de tripsina revelan que el proceso fue adecuado para destruir estos factores antifisiológicos.

En cuanto a los resultados de las pruebas funcionales, el nitrógeno soluble en agua disminuyó en un 66% en relación a la harina cruda. El proceso de 10 min produjo una harina con un contenido igual de nitrógeno soluble en agua, pero no significativamente ( $P=0.3124$ ) diferente a la harina con 5 min de cocción. Para nitrógeno soluble en hidróxido las diferencias entre el proceso de 5 y 10 min fueron significativas ( $P=0.0110$ ).

Para el WAI se observó un aumento en ambos casos, en relación al WAI de la harina cruda. El WSI disminuyó en un 41% sugiriendo que el proceso no fue suficiente para inducir mayores modificaciones en los almidones presentes.

La viscosidad que fue baja no fue estadísticamente significativa ( $P=0.2850$ ) entre el proceso de 10 y 5 min.

Los resultados parecen indicar que la harina procesada durante 5 minutos tiene mejores características funcionales que la procesada durante 10 min, mientras que las características químicas son similares entre los dos tiempos de cocción.

En el proceso de cocción-extrusión con los datos analíticos mostrados en la Tabla 7, los análisis estadísticos indican que no hay efecto de la humedad ( $P=0.7711$ ) ni existe interacción humedad\* temperatura ( $P=0.5870$ ).

TABLA 7  
RESULTADOS DE PRUEBAS QUIMICAS Y  
FUNCIONALES DEL PROCESO DE  
COCCION-EXTRUSION (n=6)

Análisis*	Humedad 18%				Humedad 21%			
	270°F		300°F		270°F		300°F	
	$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE
Humedad %	7.54	1.23	7.95	0.42	7.43	1.43	8.29	0.33
Proteínas %	21.69	0.50	21.71	0.18	21.63	0.33	22.00	0.34
Lisina g/16 gN	7.55	0.76	7.61	0.36	7.28	1.46	6.74	0.42
Metionina g/16 gN	1.57	0.01	1.44	0.07	1.08	1.46	6.74	0.42
Inhib. tripsina (UTI/mg)	12.00	1.25	10.55	1.30	12.00	1.22	6.91	1.23
Nitrógeno sol. en agua %	29.56	9.70	23.66	4.19	27.55	8.38	20.13	0.66
Nitrógeno sol. en NaOH %	87.66	12.02	86.61	6.41	82.07	16.51	69.80	4.13
WAI ml abs/g materia seca (1)	2.44	0.50	2.78	0.39	2.40	0.33	3.11	0.12
WSI % (2)	36.13	9.04	35.70	1.89	36.57	8.68	32.54	1.05
Viscosidad (cp) (3)	558	40	327	2	572	45	172	23

\* Valores expresados en base seca

(1) WAI = Índice de absorción de agua

(2) WSI = Índice de solubilidad en agua

(3) Para 10% de sólidos

DE= Desviación estandard

Para el caso de la lisina a la humedad de 18% el valor fue ligeramente mayor para 300°F que para 270°F, no siendo significativo ( $P=0.5113$ ).

Los resultados estadísticos muestran que no hay efecto de la temperatura, de la humedad ni de la interacción entre ambos. El bajo valor del contenido de lisina de la harina procesada con 21% de humedad a 300°F puede deberse a reacciones de empardeamiento, indicio de esto es el color pardo que tenía esta harina con respecto a las otras.

Los resultados de metionina son parecidos a los de lisina. Los valores de ambos aminoácidos disminuyeron con respecto a los de la harina cruda, en 16.6% para la humedad de 18% y en un 36.1% para la humedad del 21 a las dos temperaturas de procesamiento.

Con respecto a los inhibidores de tripsina los resultados indican que el proceso no fue tan efectivo como se esperaba. El contenido de estos factores antinutricionales sólo se redujo a la mitad en la mayoría de los casos. El valor fue más bajo para la temperatura de 300°F a 21% de humedad; estos resultados confirman los datos de la literatura en el sentido que para una eficiente destrucción o inactivación de los inhibidores de tripsina, se necesita humedad y temperatura altas.

Para las propiedades funcionales se encontró que el nitrógeno soluble en agua disminuyó considerablemente ( $P=0.0205$ ). El comportamiento coincide con la informado en la literatura (29,30). Se produjo una disminución del NSA ( $P=0.0254$ ) y un aumento de WAI ( $P=0.0019$ ). Es importante destacar que para 21% y 300°F que fue donde se produjo la mayor reducción de NSA, fue también donde se produjo el mayor aumento de WSI. Los resultados parecen indicar que el proceso provocó una desnaturalización de las proteínas.

Parece ser que la temperatura es la única condición responsable de la disminución de NSA ( $P=0.0254$ ). Los resultados estadísticos para el WAI, coinciden con los del NSA; sólo la temperatura afecta esta variable ( $P=0.0019$ ).

Para el caso del índice de solubilidad en agua, el proceso térmico produjo un aumento en un 25% en comparación con la harina cruda. Las temperaturas alcanzadas en el proceso fueron adecuadas para modificar el almidón, aumentando su solubilidad.

El proceso de extrusión provoca cambios en los carbohidratos de las leguminosas, favoreciendo así una mayor utilización de las proteínas. Esto puede ser debido al aumento de su digestibilidad. Esto se logra debido a que durante el proceso se logra un mejor contacto entre las partículas de la materia y el calor, lo que hace que la molécula de proteína sea más susceptible a la acción de enzimas (31).

Comparando el proceso de extrusión con el de rodos, el WAI y el WSI aparentan ser mayores para la harina de extrusión, pero la viscosidad aparenta ser mejor para la harina de rodos. Esto coincide con los datos informados en la literatura (24).

Los resultados de la evaluación nutricional se muestran en la Tabla 8. Se llevó a cabo una prueba de Tukey para establecer si habían diferencias estadísticas.

TABLA 8  
RESULTADOS BIOLÓGICOS DE HARINAS DE  
GANDUL PREPARADAS  
POR DIFERENTES PROCESOS (n=8)

Proceso*	Ganancia en peso promedio, g		Alimento consumido promedio, g		Eficiencia (1)		NPR**		Digestibilidad verdadera, %	
	$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE	$\bar{X}_{(2)}$	DE	$\bar{X}_{(2)}$	DE		
Rodos	9	2	110	10	0.08	2.20b	0.21	81.14b	4.14	
Cocción										
5 min	36	5	150	20	0.23	1.82c	0.25	79.64b	3.22	
10 min	30	5	141	21	0.21	1.47f	0.23	82.82b	3.21	
Extrusión										
270F/18%	28	4	142	21	0.20	1.48f	0.20	81.70b	4.39	
300P/18%	41	12	161	31	0.25	2.10bc	0.30	80.00b	2.41	
270F/21%	34	7	147	20	0.23	1.74e	0.18	80.54b	4.14	
300F/21%	50	4	190	12	0.26	2.00bc	0.22	80.19b	2.30	
Caseína	49	3	170	12	0.29	2.78a	0.13	92.94a	2.00	

\* Dietas con un 10% de proteína

\*\* NPR=Razón Proteínica Neta

(1) Eficiencia = peso/alimento

(2) Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas

$\bar{X}$  = Promedio de 8 repeticiones

DE= Desviación estándar

El proceso de rodos fue el que presentó el valor de NPR más alto. Sin embargo, al observar la ganancia de peso, el alimento consumidos y la eficiencia alimenticia, se observa que son los valores más bajos. Esto puede deberse a que fue subprocesado lo que se denota por el alto contenido de inhibidores de tripsina. Se sabe que los factores antifisiológicos imparten a las leguminosas sabores desagradables y afectan la utilización del alimento.

No hubo diferencias significativas entre las harinas de rodos, y las de extrusión a 300°F y 18%, y 300°F y 21% ( $P>0.05$ ) y entre éstos y los obtenidos por cocción ( $P>0.05$ ).

Los valores más bajos fueron informados para la cocción a presión durante 10 min y para la extrusión a 270°F y 18%.

Se observan las diferencias entre la cocción a 5 y 10 min ( $P=0.0043$ ). Es evidente que un mayor tiempo de cocción produce deterioro del valor de NPR. Con respecto a la extrusión un cambio de temperatura y humedad afectan los valores de NPR.

En cuanto a la digestibilidad, la prueba estadística indica que no hay diferencias significativas entre los procesos variando entre 79.6 y 82.8% ( $P>0.05$ ). La literatura también informa valores de digestibilidad para el grano crudo entre 67-77%. Los tres procesos estudiados parecen adecuados para mejorar este valor, aunque comparables con los de la caseína.

Luego de haber realizado las pruebas químicas, funcionales y biológicas se eligieron las mejores harinas de cada proceso, para establecer comparaciones entre procesos, las cuales se muestran en la Tabla 9. Las harinas seleccionadas fueron la producida por rodos, la de 5 minutos de cocción, y

las dos harinas producidas por cocción-extrusión. Como ya se indicó anteriormente, los diferentes procesos rinden harinas con características diferentes, destacándose la lisina disponible, el contenido de metionina, el de inhibidores de tripsina, el WAI y WSI, y la viscosidad.

TABLA 9  
RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS QUIMICAS, FUNCIONALES Y BIOLÓGICAS DE LAS HARINAS DE LOS PROCESOS CONSIDERADOS COMO LOS MEJORES

Análisis	Rodos	Cocción 5 min	Extrusión 300°F 18%	Extrusión 300°F 21%
Humedad, %	4.36±0.23	4.37±0.20	7.95±0.42	8.29±0.33
Proteína, %	22.30±0.06	22.29±0.46	21.71±0.18	22.00±0.34
Lisina g/16 gN	6.31±0.21	7.26±0.50	7.61±0.36	6.74±0.42
Metionina g/16gN	1.67±0.31	1.93±0.60	1.44±0.07	1.23±0.80
Inhibidores de tripsina (UTI/mg)	27.50±1.76	0.00	10.55±1.30	6.91±6.91
Nitrógeno soluble en agua %	24.08±2.42	20.77±3.81	23.66±4.19	20.13±0.66
Nitrógeno soluble en NaOH %	79.93±2.35	76.97±5.97	86.61±6.41	69.80±4.13
WAI, ml abs/g materia seca (1)	4.84±0.12	2.27±0.30	2.78±0.39	3.11±0.12
WSI, % (2)	19.64±0.02	16.08±1.69	35.70±1.89	32.54±1.05
Viscosidad (cp) (3)	948±100	164±28	327±2	172±23
NPR	2.20±0.4	1.82±0.25	2.10±0.30	2.00±0.22
Digestibilidad	81.14±4.14	79.64±3.22	80.0±2.41	80.19±2.30

\* Los resultados están expresados en base seca

(1) WAI = Índice de absorción de agua

(2) WSI = Índice de solubilidad en agua

(3) Para 10% de sólidos

Las harinas extruidas a 300°F presentaron buenas propiedades funcionales y los mayores valores de NPR. Los datos en la Tabla 9 podrían utilizarse para fines de identidad del producto intermedio que se intentó producir en este estudio. Sin embargo, la única forma práctica de decir cómo podría funcionar un ingrediente dado en un sistema alimenticio, es incorporarlo a la formulación y evaluar el producto final. El trabajo indica la posibilidad de producir harinas de leguminosas no-convencionales con características químicas, funcionales y nutricionales, para el desarrollo de productos.

## REFERENCIAS

- Rahman, A.R. Effect of chemical pre-treatment on the quality of dehydrated pigeon peas. *J. Agr. Niv. Puerto Rico*, 43:172-181, 1961.
- Salunke, D.K.; J.K. Chavan & S.S. Kada. Pigeon peas as an important food source. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 25:103-145, 1985.
- Bressani, R., R.A. Gómez-Brenes & L.G. Elías. Calidad nutricional de la proteína de gandul tierno y maduro y su valor suplementario a los cereales. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 36:108-116, 1986.
- Morton, J.H. The pigeon pea (*Cajanus cajan*, mill sp) a high protein tropical bush legume. *Hort. Science*, 11:9-11, 1976.
- Singh, V., R. Jambunathan & K. Narayanan. Biochemical changes in developing seeds of pigeon peas (*Cajanus cajan*). *Phytochem.*, 19:1291-1295, 1980.
- Yadav, S.P. Amino acid composition of developing pigeon peas (*Cajanus cajan*) seeds. *J. Agric. Food Chem.* 31:1360-1362, 1983.
- Singh, V., R. Jambunathan, K.B. Saxena & D.G. Faris. Nutritive value of green and mature pigeon pea seeds. p. 332. En: Food legume improvement for Asian farming systems. E.S. Wallin & D.E. Buth (eds). Khon Kaen, Thailand, Proc. Internat. Workshop. September 1-5, 1987.
- Jaffe, W.G. Amylase inhibitors in legume seeds. *Nutr. Rept. Internat.*, 7 169-176, 1973.
- Liu, K. & A.M. Markakis. An improved colorimetric method for determining antitryptic activity in soybean products. *Cereal Chem.*, 66:415-422, 1989.
- Sathe, S.K. & D.K. Salunke. Studies on trypsin and chymotrypsin inhibitors activities, hemagglutinating activity and sugar in the Great Northern Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *J. Food Sci.*, 46:626-629, 1981.
- Seidl, D., M. Jaffe & W.G. Jaffe. Digestibility and proteinase inhibitors action of a kidney bean globulin. *J. Agric. Food Chem.*, 17:1318-1322, 1989.
- Singh, V. Antinutritional factors of chickpea and pigeon peas and their removal by processing. *Plant foods human nutr.* 38:351-361, 1980.
- Singh, V. and M.R. Jambunathan. Protease inhibitors and in vitro protein digestibility of pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Mill sp). and its wild relatives. *J. Food Sci. Technol.*, 18:246-247, 1981.
- Coffan, C.W. & V.V. García. Functional and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. *J. Food Technol.* 12:473-475, 1973.
- Sosulski, F.N. & A.R. MC Curdy. Functionality of flours, protein fractions and isolates from field beans and faba beans. *J. Food Sci.*, 54:10010-1014, 1987.
- Chavan, J.K. & S.K. Duggar. Synergistic effect of different pulses on the protein quality of rice. *J. Sci. Food Arg.* 29:230-233, 1978.
- Owsu-Ansah, Y.J. & S.M. MC Curdy. Pea protein. A review of chemistry, technology of production and utilization. *Food Rev. Internat.*, 7:103-134, 1991.
- Fallers, D.A. & M.M. Bean. Composite flours. *Food Revs. Internat.* 4:213-235, 1988.
- MC Matters, K.H. Use of peanut and cowpea flours in selected fried and baked foods. p. 8-18. In *Plant Proteins: Applications, Biological Effects and Chemistry*. R.L. Ory (ed). ACS Symposium Series 312, 1986.
- Kelin, B.P. & M.A. Raidl. Use of field pea flours as protein supplements in foods. p.19-31. In: *Plant Proteins. Applications, Biological Effects and Chemistry*. R.L. Ory (ed). ACS Symposium Series 312, 1986.
- Association of Official Agricultural Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. Washington, D.C. 1970.
- Hurrell, R.F., P. Lemna & K.J. Carpenter. Reactive lysine in

- foodstuffs as measured by a rapid dye binding procedure. *J. Food Sci.*, 44:1221-1231, 1979.
23. Peniazek, D., Z. Grabarek & M. Rakoska. Quantitative determination of the content of available methionine and cystine in food protein. *Nutr. Metabol.*, 18:16-22, 1975.
  24. Anderson, R.A., H.V. Conway, V.F. Pfeifer & E.I. Griffin Jr. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. *Cereal Sci. today*, 14:4-12, 1969.
  25. Ramakrishnaiah, N. & P.P. Kurien. Variabilities in the dehulling characteristics of Pigeon pea (*Cajanus cajan*) cultivars. *J. Food Sci. Technol.* 20:287-291, 1983.
  27. MC Watter, K.H., M.S. Chnnan, Y.C. Hung & A.L. Branch. Effect of predecortication drying temperature in cowpea paste characteristic and functionality in preparation of akara. *Cereal Chem.*, 65:23, 1988.
  28. Bressani, R., L.G. Elfas, M.J. Huevo & J.E. Braham. Estudios sobre la producción de harinas precocidas de frijol caupí solos o combinados mediante cocción-deshidratación. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 27:247-259, 1977.
  29. Johnson, D.W. Functional properties of oilseed proteins. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 46:402-407, 1970.
  30. Vivala, E.D. & A.A. El-Dash. Extruso de farinha de guandú (*Cajanus cajan* Mill sp) 1. Efeito dos variaveis dos produtos extrudados. *Ciencia e Technol. Alim.*, 7:97-116, 1987.
  31. Chefterl, J.C. Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chem.*, 20:263-283, 1986.