

**EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE LA
DISPONIBILIDAD DE HIERRO Y EL VALOR NUTRITIVO
DE LA PROTEINA DEL FRIJOL NEGRO
(*Phaseolus vulgaris*) COCIDO¹**

Herbert Amaya², Enrique Acevedo³, y Ricardo Bressani⁴

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

RESUMEN

En Guatemala, a nivel rural, el frijol para consumo familiar se prepara una vez cada dos días. Cada 12 horas el frijol se cuece nuevamente durante 15 minutos antes de su consumo. Debido al efecto adverso del procesamiento sobre el valor nutritivo, en el presente estudio se evaluó el método y la práctica de preparación del frijol sobre el valor proteínico; contenido de taninos y de hierro total, hierro soluble y hierro ionizable. Respecto al efecto de la recocción sobre el valor proteínico, se encontró que no habían efectos estadísticamente significativos, tanto en NPR como en PER y número de cocciones. Sin embargo, se detectó cierto efecto en calidad en el primer y segundo calentamiento. El último dio un valor similar al primero. Asimismo, el primer y segundo calentamiento redujeron la digestibilidad de la proteína, pero el tercero dio un valor similar al valor inicial. No se observaron cambios en la digestibilidad de la materia seca. Se encontraron cantidades relativamente altas de proteína en el caldo de cocción, que no fue afectado por el número de cocciones. Se encontró que el caldo de cocción contenía niveles altos de taninos en la cocción inicial y luego el contenido disminuyó significativamente. Lo mismo se observó en el frijol cocido sólo, y en el frijol

Manuscrito modificado recibido: 14-11-89.

- 1 Este trabajo fue financiado por el Programa INC-NUT-370/PN/85-85/CA-Bean/Cowpea-CRSP, Título XII.
- 2 Egresado del Curso de Postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, del Centro de Estudios Superiores en Nutrición y Ciencias de Alimentos.
- 3 Investigador de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP.
- 4 En la época en que se desarrolló este estudio, Jefe de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos de INCAP. En la actualidad, Coordinador de la Investigación en Ciencias Agrícolas y Tecnología de Alimentos, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Apartado Postal 1188, Guatemala, Guatemala, C. A.

con su caldo. En lo referente al hierro, se constató una transferencia relativamente alta del frijol al caldo tanto en hierro total, soluble, ionizable e insoluble. En cambio, en el frijol entero sin caldo, no se detectó ningún cambio por número de cocciones en hierro total, soluble y ionizable. Se observó un efecto similar, en el caso del frijol con caldo, aunque se notó un aumento en el hierro insoluble al final de la cocción. En el caldo, se encontró una disminución en hierro soluble y hierro insoluble respecto al número de cocciones. Se calcularon correlaciones entre los parámetros estudiados, los cuales sugieren cierto efecto de los taninos sobre la biodisponibilidad de hierro.

INTRODUCCION

La importancia del frijol en la dieta de las poblaciones de América latina está bien documentada (1). Existen varias formas de consumo (2, 3); sin embargo, la más común es la del frijol con agua, con o sin aditivos, durante tiempos que dependen de la dureza del grano, y luego colado o frito o entero, con su caldo. En este sentido, es común encontrar que cierta cantidad de frijol crudo se cocina para ser consumido aproximadamente en los siguientes tres días, sometiéndolo a un proceso de calentamiento antes de servirlo.

Debido a su alto contenido de humedad, de carbohidratos y de proteína, el frijol cocido es un alimento de rápida descomposición microbiana.

Una de las formas de evitar dicha fermentación principalmente a nivel rural es recocinarlo en su propio caldo. Generalmente, este proceso de recocción - que podría ser considerado como una pasteurización - se efectúa cada 12 horas a temperatura de ebullición del caldo (96°C) durante 15 minutos.

La recocción del frijol cocido implica no sólo un tratamiento térmico adicional, sino también un proceso de reposo del frijol en el caldo que podría causarle cambios cuantitativos y/o cualitativos en su composición química y valor nutricional. El caldo de cocción del frijol contiene cantidades significativas de solutos del frijol, entre los cuales están los taninos (4).

Por otro lado, el frijol es una de las fuentes más abundantes de hierro (5 a 6.5 mg/100 g) (5). Sin embargo, su importancia cualitativa es menor, pues sólo se absorbe alrededor del 10% (2).

La ingesta promedio de frijol en Guatemala es de 50 g/día. Esta cantidad aporta teóricamente 2.5 - 3.2 mg de hierro/día, o sea 250 - 320% del requerimiento (1 mg Fe/día) y que representa el 25 - 32 de la recomendación diaria (10 mg Fe/día) de hierro para el hombre adulto.

La disponibilidad del hierro en el frijol crudo y en el frijol cocido es baja y podría reducirse aún más durante el proceso de recocción, probablemente debido a su interacción con otros componentes del alimento, principalmente fitatos, taninos y fibra dietética (6, 7).

El propósito del trabajo objeto de este artículo fue evaluar el efecto de la frecuencia de recocción sobre el valor nutritivo de la proteína y la disponibilidad del hierro del frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) (3).

MATERIAL Y METODOS

Se utilizó frijol negro (*Phaseolus vulgaris*), de reciente cosecha, adquirido en el mercado urbano de Guatemala.

1. Preparación de Muestras

Se efectuó un proceso de cocción inicial durante tres horas a presión atmosférica (96°C), utilizando una relación frijol: agua de 1:3, sin remojo primero. El frijol se consideró que estaba cocido a través de la evaluación subjetiva de su suavidad y textura al someterlo a presión entre los dedos. Luego el frijol permaneció en reposo en el caldo a temperatura ambiente, llevándose a cabo un proceso de recocción a temperatura de ebullición durante 15 minutos, a las 12, 24 y 36 horas después de la primera cocción.

Se obtuvieron muestras de frijol más caldo, de frijol cocido sin caldo, y del caldo en cada etapa del método casero de consumir el frijol, incluyendo muestras antes de cada recocción, de acuerdo con lo que indica la Figura 1. Según se observa, en cada recocción se obtuvieron tres muestras: el frijol cocido en su caldo, el frijol cocido sin su caldo, y el caldo. Esta separación se logró usando un colador y permitiendo que el caldo fluyera por gravedad.

Las muestras se secaron en estufa de aire circulante a 60°C durante 12-18 horas, y luego se molieron a 40 mallas, con un molino de martillos.

2. Análisis Químicos

Todas las muestras de cada etapa de recocción se sometieron a evaluación química.

Los taninos condensados se determinaron por el método modificado de la vainillina-HCl de Price, Van Scoyoc y Butler (8), usando un blanco-muestra para eliminar las interferencias de otros pigmentos de la semilla del frijol.

La proteína se determinó por el método micro Kjeldahl de la AOAC (9).

El hierro ionizable (pH 7.5) y el Fe soluble (pH 7.5) se extrajeron usando el método de Narasinga Rao y Prabhathathi (10).

El hierro total y el hierro soluble (pH 7.5) del extracto se estableció por absorción atómica, utilizando el método de la AOAC (9).

El hierro ionizable de extracto se determinó por el método colorimétrico de α - α - dipiridil descrito por la AOAC (9).

El hierro insoluble se calculó por diferencia entre el hierro total y el hierro soluble.

3. Evaluación Biológica en Ratas

Las muestras de frijol: caldo de cada etapa de cocción se sometieron a evaluación biológica.

Se utilizaron ratas cepa Wistar de 21 días de edad, con un peso promedio de 43 g (42 - 44g) de la colonia animal del INCAP, formándose siete grupos experimentales (siete etapas de cocción) de seis animales cada uno, tres hembras y tres machos, con dos repeticiones independientes. Las ratas se alojaron en jaulas individuales y se les suministró agua y alimento *ad libitum*.

La determinación de la razón proteínica neta (NPR) establecida en 14

		Muestras		
Frijol crudo	# 1	Grano crudo	-	-
Frijol cocido (Cocción inicial)	# 2	Grano cocido + caldo	Grano cocido - caldo	Caldo
Frijol cocido Reposo 12 hrs	# 3*	Grano cocido + caldo	Grano cocido - caldo	Caldo
Frijol cocido la recocción	# 4	Grano cocido + caldo	Grano cocido - caldo	Caldo
Frijol cocido Reposos 12 hrs	# 5*	Grano cocido + caldo	Grano cocido - caldo	Caldo
Frijol cocido 2a. recocción	# 6	Grano cocido + caldo	Grano cocido - caldo	Caldo
Frijol cocido reposos 12 hrs	# 7	Grano cocido + caldo	Grano cocido - caldo	Caldo
Frijol cocido 3a. recocción	# 8	Grano cocido + caldo	Grano cocido - caldo	Caldo

* Muestra después de un reposo de 12 horas antes de la siguiente recocción.

FIGURA 1

Método de procesamiento y recolección de muestras para análisis

días, y el índice de eficiencia proteínica (PER) en 28 días, se hizo a un nivel de 10% de proteína en la dieta, utilizando el método de Bender y Doell (11) y de la AOAC (9), respectivamente, excepto para la mezcla de vitaminas (12) y minerales (13). Se usó también aceite refinado de semilla de algodón a un nivel de 5%.

Por medir la proteína de mantenimiento se utilizó un grupo experimental con dieta libre de nitrógeno.

La digestibilidad de la proteína y de la materia seca se hizo en la última semana (cuarta) del procedimiento de PER, y se efectuó en las dietas

correspondientes a la cocción inicial y recocciones 1, 2, y 3. Se recolectaron las heces de todo el grupo experimental (seis ratas) por un período de siete días, y se almacenaron bajo refrigeración. Luego se secaron a 60°C y se molieron en un micromolino Wiley con tamiz 40, después se determinó el nitrógeno por el método micro Kjeldahl (9).

La digestibilidad aparente se calculó midiendo la cantidad de nitrógeno ingerido en la dieta y la cantidad excretada en las heces:

$$\text{Digestibilidad aparente} = \frac{(\text{Consumo de nitrógeno} - \text{Nitrógeno fecal})}{\text{Consumo de nitrógeno}} \times 100$$

La digestibilidad verdadera fue calculada midiendo la cantidad de nitrógeno ingerido en la dieta, la cantidad excretada en las heces y la llamada pérdida metabólica en las heces. Esta última fue estimada de la cantidad de nitrógeno excretado por las ratas alimentadas con la dieta libre de nitrógeno:

$$\text{Digestibilidad} = \frac{\text{Consumo de N} - (\text{N fecal} - \text{N metabólico})}{\text{Consumo de nitrógeno}} \times 100$$

4. *Análisis Estadístico*

El análisis estadístico de los datos incluyó el análisis de varianza de una vía, con lo cual se estableció si existían diferencias entre las diferentes etapas de cocción. Las comparaciones binarias se hicieron por la prueba de Tukey, y las comparaciones múltiples, por la prueba de Scheffé. Se establecieron las tendencias de cada variable durante el proceso de recocción por las comparaciones ortogonales. La relación y la dependencia entre variables se hizo por análisis de regresión y correlación simple, respectivamente.

En todas las pruebas estadísticas la probabilidad de error fue menor o igual que 5% ($P < 0.05$) (14).

RESULTADOS Y DISCUSION

El valor nutricional de la proteína de las diferentes muestras se presenta en la Tabla 1 para la razón proteínica neta (NPR), en la Tabla 2, para el índice de eficiencia proteínica (PER), y para la digestibilidad de la proteína en la Tabla 3.

El rango de variación del NPR y el PER fue de 2.0-2.4 y 1.0-1.3, respectivamente, valores que están dentro de la variabilidad generalmente informada para frijol común (1, 15, 16).

Aun cuando el tiempo de procesamiento térmico a que se sometió fue equivalente a 3.8 horas (tres horas de cocción inicial y tres recocciones de 15 minutos), la variación en la calidad proteínica fue menor al correspondiente rango de variación en procesos de cocción continuos (15).

Esto indica que las recocciones del frijol por un total de 45 minutos adicionales probablemente afecte menos la calidad de la proteína que la cocción continua, aspecto que merece ser evaluado en estudios posteriores.

TABLA 1

EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE EL VALOR NUTRITIVO DE LA PROTEINA DEL FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*) COCIDO, EXPRESADO COMO RAZON PROTEINICA NETA (NPR)^a

Etapa de cocción	Proteína dieta (%)	Aumento peso (g/día)	Alimento ingerido (g/día)	NPR
Cocción inicial	9.26 ± 0.53	0.91 ± 0.31	8.22 ± 1.66	2.16 ± 0.25
Reposo 1	9.26 ± 0.46	0.76 ± 0.37	7.96 ± 1.07	2.00 ± 0.34
Calentamiento 1	9.05 ± 0.89	0.96 ± 0.37	8.01 ± 1.11	2.32 ± 0.30
Reposo 2	8.34 ± 0.22	0.89 ± 0.32	8.28 ± 1.08	2.36 ± 0.44
Calentamiento 2	9.09 ± 0.50	1.22 ± 0.37	8.89 ± 0.69	2.41 ± 0.33
Reposos 3	9.38 ± 0.18	0.94 ± 0.36	8.25 ± 0.98	2.15 ± 0.31
Calentamiento 3	9.26 ± 0.27	0.78 ± 0.32	7.80 ± 1.24	2.11 ± 0.36
DMS (P < 0.05) ^b	NS ^c	0.43	NS	0.40

a Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Diferencia mínima significativa. Las diferencias entre dos promedios que excedan este valor son estadísticamente significativas (P < 0.05).

c No existen diferencias significativas entre los promedios.

TABLA 2

EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE EL VALOR NUTRITIVO DE LA PROTEINA DEL FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*) COCIDO, EXPRESADO COMO INDICE DE EFICIENCIA PROTEINICA (PER)^a

Etapa de cocción	Proteína dieta (%)	Aumento peso (g/día)	Alimento ingerido (g/día)	PER
Cocción inicial	9.26 ± 0.53	0.98 ± 0.25	8.80 ± 1.20	1.19 ± 0.20
Reposo 1	9.26 ± 0.46	0.81 ± 0.23	8.36 ± 1.44	1.08 ± 0.19
Calentamiento 1	9.05 ± 0.89	0.98 ± 0.29	8.51 ± 1.37	1.24 ± 0.21
Reposo 2	8.34 ± 0.22	0.83 ± 0.22	8.55 ± 1.24	1.15 ± 0.21
Calentamiento 2	9.09 ± 0.50	1.12 ± 0.31	9.44 ± 1.22	1.29 ± 0.16
Reposo 3	9.38 ± 0.18	0.90 ± 0.24	8.64 ± 1.28	1.11 ± 0.19
Calentamiento 3	9.26 ± 0.27	0.78 ± 0.21	8.21 ± 1.27	1.02 ± 0.17
DMS (P < 0.05) ^b	NS ^c	0.31	NS	0.24

a. Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Diferencia mínima significativa. Las diferencias entre dos promedios que excedan este valor son estadísticamente significativas (P < 0.05).

c No existen diferencias significativas entre los promedios.

TABLA 3
EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD PROTEINICA DEL FRIJOL NEGRO
(Phaseolus vulgaris) COCIDO^a

Etapa de cocción	Nitrógeno ingerido (g)	Nitrógeno fecal (g)	Nitrógeno absorbido aparente (g)	Digestibilidad aparente (%)	Digestibilidad verdadera (%)
Cocción inicial	0.93 ± 0.16	0.15 ± 0.03	0.78 ± 0.13	83.76 ± 1.90	85.64 ± 1.90
Calentamiento 1	0.90 ± 0.21	0.21 ± 0.09	0.69 ± 0.14	77.49 ± 5.66	79.49 ± 6.06
Calentamiento 2	1.01 ± 0.23	0.34 ± 0.09	0.67 ± 0.15	66.38 ± 3.35	68.13 ± 3.44
Calentamiento 3	0.88 ± 0.17	0.09 ± 0.03	0.79 ± 0.17	89.09 ± 3.82	91.07 ± 3.62
DMS (P < 0.05) ^b	NS ^c	0.07	NS	4.28	4.41

a Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Diferencia mínima significativa. Las diferencias entre dos promedios que excedan el valor son estadísticamente significativas (P < 0.05).

c No existen diferencias significativas entre los promedios.

El reposo de los frijoles cocidos y recocidos en el caldo disminuyó los valores de NPR o PER, aunque no significativamente.

La recocción del frijol incrementó los valores de NPR o PER, salvo en la última recocción, en la que disminuyeron ligeramente. El citado incremento en la calidad de la proteína al recocer el frijol podría deberse a la eliminación de la actividad residual de factores antinutricionales termolábiles, tales como los inhibidores de tripsina y las hemaglutininas. En el estudio que nos ocupa, se encontró que el valor nutritivo máximo de la proteína del frijol, expresado como NPR o PER, correspondió a la segunda recocción, no siendo diferente a los valores de la tercera recocción.

Por otro lado, similarmente a la cocción excesiva, la recocción excesiva puede causar disminución en el valor nutritivo de la proteína del frijol (15).

El rango de variación de la digestibilidad aparente y de la digestibilidad verdadera de la proteína fue de 66-89% y 68-91%, respectivamente (Tablas 3 y 4). Esto representa gran variabilidad para una misma muestra de frijol, ya que coincide prácticamente con el rango de digestibilidad (aparente y verdadera), 65-88%, compilado por Tobin y Carpenter (17), y por Bressani y Elías (18).

El proceso de recocción, pues, según dichos datos, tiene efecto significativo sobre la digestibilidad de la proteína.

En este experimento se encontró que la digestibilidad disminuye durante el proceso de recocción, excepto en la última, en la cual se incrementó significativamente.

La disminución en la digestibilidad de la proteína posiblemente se deba a una mayor interacción proteína-taninos (4, 19, 20). Otros componentes que podrían interaccionar con la proteína afectando su digestibilidad son los inhibidores enzimáticos (21-23), las hemaglutininas (21), los polisacáridos indigestibles (24), y los fitatos y fibra dietética (17, 25).

TABLA 4

EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA DEL FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*) COCIDO^a

Etapa de cocción	Materia seca ingerida (g)	Materia seca en heces (g)	Digestibilidad materia seca (%)
Cocción inicial	62.75 ± 10.74	6.79 ± 1.41	89.19 ± 1.05
Calentamiento 1	62.08 ± 12.21	6.91 ± 1.48	88.90 ± 0.48
Calentamiento 2	69.17 ± 13.80	8.06 ± 2.04	88.42 ± 1.11
Calentamiento 3	59.50 ± 11.18	6.34 ± 1.33	89.32 ± 1.45
DMS (P < 0.05) ^b	NS ^c	NS	NS

a Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Diferencia mínima significativa.

c No existen diferencias significativas entre los promedios.

El incremento en la digestibilidad proteínica en la última recocción no es para el espesor y podría deberse a un incremento de la biodisponibilidad de aminoácidos de la proteína que, por el tiempo transcurrido, por los recalentamientos y otros cambios moderados, pueden haber iniciado algún proceso hidrolítico. Sin embargo, es un aspecto que indiscutiblemente deberá confirmarse.

Este incremento en biodisponibilidad de aminoácidos asociado a digestibilidad ha sido notificado por Kakade y Evans (26). Dichos autores encontraron que los mayores incrementos en biodisponibilidad corresponden a los aminoácidos azufrados, metionina y cistina, aminoácidos que están presentes en alta concentración en los inhibidores de tripsina. No obstante, éstos son susceptibles a destrucción, ya que de lo contrario, la NPR y el PER no habrían disminuido en la última recocción.

La digestibilidad global del alimento, expresada como digestibilidad de la materia seca (Tabla 4), se mantuvo prácticamente constante durante el procesamiento (88.4 - 89.3%).

Es interesante mencionar, sin embargo, que la máxima digestibilidad de la materia seca se registró en el último calentamiento, y podría ser el resultado del aumento en la digestibilidad de la proteína de la última etapa de recocción, así como también de la hidrólisis en carbohidratos y otras moléculas complejas en el frijol. Estos son aspectos que requieren investigaciones adicionales.

La proteína en las diferentes muestras del frijol negro experimentó pequeños cambios durante el proceso de recocción. En el frijol colado osciló entre 20.7 y 23.3; en el frijol + caldo, entre 20.1 y 23.1%, y en el caldo, entre 16.5 y 18.4%, como se muestra en la Tabla 5. El contenido de proteína en el caldo es significativo, y confirma hallazgos previos (16).

TABLA 5

EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE EL CONTENIDO DE PROTEINA CRUDA (%) EN LAS DIFERENTES FRACCIONES DEL FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris*) COCIDO^a

Etapa de cocción	Frijol colado	Frijol ± caldo	Caldo
Frijol crudo	-	20.83 ± 0.34	-
Cocción inicial	20.78 ± 1.03	21.22 ± 0.21	17.71 ± 0.29
Reposo 1	20.72 ± 1.37	23.07 ± 0.37	17.14 ± 0.14
Calentamiento 1	2.56 ± 0.77	20.32 ± 0.81	16.89 ± 0.92
Reposo 2	21.87 ± 0.85	20.30 ± 0.18	16.97 ± 0.15
Calentamiento 2	20.94 ± 0.91	20.09 ± 0.59	16.14 ± 1.20
Reposo 3	23.32 ± 0.21	20.10 ± 0.23	18.38 ± 0.53
Calentamiento 3	23.14 ± 0.15	20.54 ± 0.41	17.89 ± 1.37
DMS (P < 0.05) ^b	1.97	1.74	1.86

a Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Diferencia mínima significativa. Las diferencias entre dos promedios que excedan este valor son estadísticamente significativas (P < 0.05).

El contenido de taninos acusó cambios significativos durante el procesamiento, según se indica en la Tabla 6. Al comparar el frijol crudo con el frijol sin caldo de la cocción inicial, se observa una reducción del 64%. Este porcentaje de reducción es comparable al rango de reducción de taninos (37.5-77%), informado por Reddy, Pierson y Sathe (19).

TABLA 6

EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE EL CONTENIDO DE TANINOS (mg de catequina/100 g) DE LAS DIFERENTES MUESTRAS DEL FRIJOL NEGRO (*P. vulgaris*) COCIDO^a

Etapa de cocción	Frijol sin caldo	Frijol ± caldo	Caldo
Frijol crudo	-	119.80 ± 3.14	-
Cocción inicial	43.32 ± 4.50	57.36 ± 6.24	313.83 ± 39.11
Reposo 1	45.67 ± 1.62	47.11 ± 1.93	144.84 ± 7.17
Calentamiento 1	50.10 ± 8.06	38.68 ± 2.93	146.15 ± 12.47
Reposo 2	35.31 ± 4.97	38.26 ± 1.29	77.98 ± 14.37
Calentamiento 2	38.21 ± 7.75	45.01 ± 4.45	77.23 ± 20.32
Reposo 3	36.97 ± 2.37	33.50 ± 2.58	55.88 ± 2.63
Calentamiento 3	27.42 ± 4.45	31.35 ± 2.45	50.62 ± 37.42
DMS (P < 0.05) ^b	12.23	8.71	53.33

a Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Diferencia mínima significativa. Las diferencias entre dos promedios que excedan este valor son estadísticamente significativas (P < 0.05).

En la última recocción el porcentaje de reducción se elevó a 92.4%, es decir, a un nivel comparable a los obtenidos por descascarado de la semilla de que se da cuenta en la literatura (68-94.6%) (19).

Varios autores han sugerido que la reducción de los taninos por procesos de cocción es aparente, y está más relacionada a cambios en su solubilidad y reactividad química. Así, la reducción de los taninos puede deberse a la propiedad de ligarse con proteína y otras sustancias orgánicas, o bien alteraciones en la estructura química que no se determinan por los métodos químicos disponibles (19).

Un aspecto que cabe señalar es el hecho de que parte de los taninos se transfieren al caldo, aspecto ya informado (3). El contenido de taninos también disminuyó en el caldo por recocción como se obtuvo en el frijol con o sin caldo.

Finalmente, se determinó el efecto del recalentamiento sobre el contenido de hierro (total, soluble, ionizable, insoluble del frijol cocido sin caldo (Tabla 7), frijol + caldo (Tabla 8) y caldo (Tabla 9).

El hierro total presentó los siguientes rangos de variación durante el procesamiento: frijol sin caldo, 2.9 - 3.8 mg%; frijol + caldo, 4.1 - 5.8 mg% y el caldo, 12.6 - 15.5 mg%. Se observó (Tabla 8) que el valor de hierro total en el

TABLA 7

**EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE EL CONTENIDO DE
HIERRO (TOTAL, SOLUBLE, IONIZABLE, INSOLUBLE) (mg/100 g)
DEL FRIJOL NEGRO COCIDO SIN CALDO^a**

Etapas de cocción	Fe total	Fe soluble ^b	Fe ionizable ^b	Fe insoluble ^c
Cocción inicial	3.42 ± 0.14	0.34 ± 0.05 (9.9) ^d	0.31 ± 0.06 (9.0)	3.08 ± 0.05 (90.1)
Reposo 1	3.23 ± 0.21	0.39 ± 0.06 (12.1)	0.36 ± 0.05 (11.0)	2.84 ± 0.06 (87.9)
Calentamiento 1	2.94 ± 0.13	0.34 ± 0.06 (11.6)	0.26 ± 0.04 (9.0)	2.60 ± 0.06 (88.4)
Reposo 2	3.48 ± 0.28	0.30 ± 0.02 (8.6)	0.31 ± 0.06 (9.0)	3.18 ± 0.02 (91.4)
Calentamiento 2	3.80 ± 0.11	0.42 ± 0.04 (11.1)	0.41 ± 0.03 (10.8)	3.38 ± 0.04 (88.9)
Reposo 3	3.49 ± 0.24	0.30 ± 0.04 (8.6)	0.26 ± 0.02 (7.3)	3.19 ± 0.04 (91.4)
Calentamiento 3	3.27 ± 0.20	0.32 ± 0.02 (8.8)	0.33 ± 0.01 (10.0)	2.95 ± 0.02 (90.2)
DMS (P < 0.05) ^e	0.45	0.10	0.10	0.10

a Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Determinado a un pH de 7.5.

c Diferencia entre el hierro soluble y el hierro total.

d Los valores entre paréntesis representan los porcentajes de hierro soluble, ionizable o insoluble, respecto al hierro total.

e Diferencia mínima significativa. Las diferencias entre dos promedios que excedan este valor son estadísticamente significativas (P < 0.05).

TABLA 8

**EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE LE CONTENIDO DE
HIERRO (TOTAL, SOLUBLE, IONIZABLE, INSOLUBLE) (mg/100 g)
DEL FRIJOL NEGRO COCIDO + CALDO^a**

Etapas de cocción	Fe total	Fe soluble ^b	Fe ionizable ^b	Fe insoluble ^c
Frijol crudo	4.50 ± 0.12	0.40 ± 0.05 (8.9) ^d	0.29 ± 0.03 (6.5)	4.10 ± 0.05 (91.1)
Cocción inicial	4.92 ± 0.18	0.59 ± 0.04 (12.0)	0.41 ± 0.04 (8.4)	4.33 ± 0.04 (88.0)
Reposo 1	4.74 ± 0.13	0.54 ± 0.02 (11.4)	0.35 ± 0.05 (7.5)	4.20 ± 0.02 (88.6)
Calentamiento 1	4.42 ± 0.22	0.48 ± 0.09 (10.9)	0.36 ± 0.02 (8.1)	3.94 ± 0.00 (89.1)
Reposo 2	4.13 ± 0.30	0.34 ± 0.02 (8.2)	0.33 ± 0.02 (8.0)	3.79 ± 0.02 (91.8)
Calentamiento 2	4.36 ± 0.15	0.54 ± 0.03 (12.4)	0.36 ± 0.03 (8.2)	3.82 ± 0.03 (87.6)
Reposo 3	4.37 ± 0.22	0.32 ± 0.04 (7.3)	0.34 ± 0.06 (7.9)	4.05 ± 0.04 (92.7)
Calentamiento 3	5.82 ± 0.22	0.45 ± 0.03 (7.7)	0.41 ± 0.06 (7.0)	5.37 ± 0.03 (92.3)
DMS (P < 0.05) ^e	0.471	0.11	0.10	0.11

a Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Determinando a un pH de 7.5.

c Diferencia entre el hierro soluble y el hierro total.

d Los valores entre paréntesis representan los porcentajes de hierro soluble, ionizable o insoluble respecto al hierro total.

e Diferencia mínima significativa. Las diferencias entre dos promedios que excedan este valor son estadísticamente significativas (P < 0.05).

TABLA 9

**EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO SOBRE EL CONTENIDO DE
HIERRO (TOTAL, SOLUBLE, IONIZABLE, INSOLUBLE) (mg/100 g)
DEL CALDO DE FRIJOL NEGRO (*P. vulgaris*) COCIDO^a**

Etapa de cocción	Fe total	Fe soluble ^b	Fe ionizable ^b	Fe insoluble ^c
Cocción inicial	14.88 ± 0.47	2.33 ± 0.04 (15.6) ^d	1.42 ± 0.06 (9.5)	12.55 ± 0.04 (84.4)
Reposo 1	15.46 ± 0.60	2.28 ± 0.11 (14.7)	1.94 ± 0.08 (12.5)	13.18 ± 0.11 (85.3)
Calentamiento 1	12.56 ± 0.34	2.43 ± 0.07 (19.3)	1.54 ± 0.11 (12.3)	10.13 ± 0.07 (80.7)
Reposo 2	13.64 ± 0.37	2.57 ± 0.06 (18.8)	1.62 ± 0.05 (11.9)	11.07 ± 0.06 (81.2)
Calentamiento 2	14.27 ± 0.30	2.30 ± 0.04 (16.1)	1.13 ± 0.10 (7.9)	11.97 ± 0.04 (83.9)
Reposo 3	14.39 ± 0.22	2.12 ± 0.13 (14.7)	1.41 ± 0.08 (9.8)	12.27 ± 0.13 (85.3)
Calentamiento 3	15.36 ± 0.36	1.72 ± 0.06 (11.2)	1.14 ± 0.03 (7.4)	13.64 ± 0.06 (88.8)
DMS ($P < 0.05$) ^e	0.91	0.18	0.18	0.18

a Promedio ± desviación estándar de dos determinaciones independientes.

b Determinado a un pH de 7.5.

c Diferencia entre el hierro soluble y el hierro total.

d Los valores entre paréntesis representan los porcentajes de Fe soluble, Fe ionizable o Fe insoluble respecto al Fe total.

e Diferencia mínima significativa. Las diferencias entre dos promedios que excedan este valor son estadísticamente significativas ($P > 0.05$).

tercer calentamiento de la muestra de frijol cocido con su caldo, fue mayor que en las otras muestras de ese grupo. Esto podría deberse a una mayor cantidad de caldo en la muestra.

La solubilidad del hierro (pH 7.5) expresado en porcentaje respecto al hierro total, acusó la siguiente variabilidad: frijol sin caldo, 8.6-11.6%; frijol más caldo, 7.3-12.1%, y el caldo, 11.2-19.3%.

El hierro ionizable (pH 7.5) se ha propuesto como un indicador adecuado de biodisponibilidad de hierro (9).

El método se basa en la liberación del hierro al tratar el alimento con pepsina-HCl a pH 1.35 y subsecuente ajuste de pH a 7.5, simulando las condiciones prevalecientes en el estómago y en el intestino, respectivamente. El hierro así liberado, que reacciona con el *a*-*a*,*-* dipiridil, se denomina hierro ionizable y el hierro total del extracto, hierro soluble (pH 7.5).

La medición del hierro ionizable a un pH de 7.5 representa su principal modificación respecto a metodologías similares (hierro ionizable pH 1.35). La razón de esta modificación es que al pH alcalino del intestino, la solubilidad del hierro decrece considerablemente. Por lo tanto, los valores de hierro ionizable a pH 7.5 son menores al determinarse a pH 1.35, y son más representativos de la biodisponibilidad de hierro.

El hierro ionizable (pH 7.5) expresado como porcentaje respecto al hierro total, acusó la siguiente variabilidad durante el procesamiento: frijol sin caldo, 7.3 - 11.0%, frijol + caldo, 6.5 - 8.4%, y el caldo solo, 7.4 - 12.5%.

Los datos de las Tablas 7, 8 y 9 indican que tanto el hierro total como el soluble, ionizable e insoluble, se transfieren el caldo de cocción en cantidades relativamente altas, de tal manera que el grupo de muestras de frijol sin caldo

fueron las que contenían la menor cantidad. El Fe insoluble de todas las muestras de frijol, con y sin caldo representaba el 90% del total y alrededor del 84% en el caso del caldo. Respecto al Fe soluble e ionizable, éstos se encontraron en una concentración similar en el frijol con y sin caldo, pero en el caldo había más Fe soluble que insoluble. Finalmente, la reacción aparentemente redujo ligeramente el Fe soluble y el fe ionizable en el caldo, no siendo evidente en el frijol con y sin caldo.

Los resultados indican que la biodisponibilidad del hierro del frijol es baja. El proceso de recocción tiene un efecto significativo en su disponibilidad, principalmente en el caldo.

La baja disponibilidad del hierro de las diferentes muestras no correlacionó con el contenido de taninos (Tabla 10), lo que indica que existen otros componentes del alimento que determinan la biodisponibilidad del hierro del frijol cocido y recocado. Este hallazgo también fue observado por Radhakrishnan y Sivaprasad (27) al relacionar los taninos del sorgo con biodisponibilidad del hierro.

En conclusión, el efecto de la recocción sobre la calidad de la proteína del frijol negro es significativa, principalmente sobre su digestibilidad. La cantidad de proteína se mantiene prácticamente constante.

La disponibilidad del hierro del frijol cocido y el caldo es baja. El proceso de recocción afecta su disponibilidad, principalmente en el caldo.

El contenido de taninos no guardó correlación con la disponibilidad del hierro, indicando así que durante la cocción actúan distintos factores que insolubilizan gran parte del hierro (7).

Se necesitan nuevas investigaciones para establecer la influencia de complejos formados entre la proteína y factores antinutricionales (taninos, inhibidores enzimáticos, hemaglutininas), fibra dietética y biodisponibilidad de aminoácidos sobre la digestibilidad de la proteína del frijol durante procesos de cocción alternos y continuos.

Deben efectuarse estudios adicionales para establecer el rol de los taninos, fosfatos, fitatos y la fibra dietética sobre la propia disponibilidad de hierro y sobre la disponibilidad del hierro de otros alimentos ingeridos juntamente con el frijol en la dieta básica.

TABLA 10

ANALISIS DE CORRELACION ENTRE TANINOS Y HIERRO (TOTAL, SOLUBLE, IONIZABLE, E INSOLUBLE)

	Ta F	Ta FC	Ta C	HTF	HSF	HIO F	HIn F	HT FC	HS FC	HIO FC	HIn FC	HTC	HSC	HIOc	HInC
TaF	-	0.54	0.58	-0.44	0.35	-0.20	-0.52	-0.461	0.447	-0.21	-0.08	-0.42	0.63	0.58	-0.50
TaFC	-	-	0.87*	0.17	0.50	-0.33	0.08	-0.117	0.733	0.28	0.17	0.20	0.44	0.25	0.071
TaC	-	-	-	-0.20	0.13	-0.09	-0.22	0.060	0.678	0.47	-0.22	0.08	0.34	0.25	-0.010
HTF	-	-	-	-	0.28	0.572	0.99*	-0.257	-0.05	-0.14	0.70	0.26	0.04	-0.45	0.22
HSF	-	-	-	-	-	0.809*	0.109	-0.071	0.74	0.04	0.74	0.20	0.12	-0.004	0.14
HIOF	-	-	-	-	-	-	0.449	0.122	0.52	0.11	0.74	0.47	-0.08	-0.184	4.42
HInf	-	-	-	-	-	-	-	-0.254	-0.18	-0.15	0.60	0.24	0.02	-0.461	0.20
HTFC	-	-	-	-	-	-	-	-	0.29	0.84*	-0.24	0.64	-0.85*	-0.347	0.73
HSFC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57	0.32	0.29	0.033	-0.003	0.24
HIOFC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.08	0.44	-0.57	-0.488	0.50
HInFC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.04	0.08	-0.513	-0.051
HTC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.61	-0.025	0.984*
HSC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.514	-0.743
HIOc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.137
HInC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TaF (taninos frijol colado), TaFC (taninos frijol + caldo), TaC (taninos caldo), HTF (hierro total frijol colado), HSF (hierro soluble frijol colado), HIOF (hierro ionizable frijol colado), HInf (hierro insoluble frijol colado), HTFC (hierro total frijol + caldo), HSFC (hierro soluble frijol + caldo), HIOFC (hierro ionizable frijol + caldo), HInFC (hierro insoluble frijol + caldo), HTC (hierro total caldo) HSC (hierro soluble caldo), HIOc (hierro ionizable caldo), HInC (hierro insoluble caldo).

SUMMARY

**EFFECT OF REPEATED COOKING ON IRON AVAILABILITY
AND NUTRITIVE VALUE OF COOKED BLACK BEANS
(*Phaseolus vulgaris*) PROTEIN**

In Guatemala, at the rural level, beans are prepared for family consumption every two days. Beans are cooked again every 12 hours for 15 minutes prior to their consumption. Due to the adverse effect that the process causes on nutritive value, the present study evaluated the method and preparation practice of beans on protein value; tannin and soluble and ionizable iron content. As to the effect of re-cooking on protein level, findings revealed that there were no significant statistical effects on net protein ratio (NPR) or in protein efficiency ratio (PER) and number of bean cookings. Nevertheless, a constant effect in quality in the first and second cooking procedure was detected. The second cooking gave a similar value as the first. Also, the first and second heatings reduced protein digestibility, but the third gave a value similar to the initial one. No changes were observed in the digestibility of dry matter. Relatively high amounts of protein were found in the cooking broth, which was not affected by the number of heatings. It was also found that the bean broth contained high levels of tannins in the initial heating, decreasing later significantly. The same was observed in the cooked beans alone and in beans with their broth. With respect to iron, findings showed a relatively high transference of beans to broth, in total iron as well as in soluble, ionizable and insoluble iron. No changes were observed in whole beans without broth caused by number of heatings, on total, soluble or ionizable iron. In beans with their broth, a similar effect was observed, although a slight increase in insoluble iron was detected at the end of heating. A decrease in soluble and insoluble iron was observed in broth with number of heatings. Correlations were calculated among the parameters studied, which suggested an effect of tannins on the bioavailability of iron caused by tannins.

BIBLIOGRAFIA

1. Bressani, R., M. Flores & L. G. Elías. Aceptabilidad y valor nutricional de las plantas leguminosas de grano en la dieta humana. En: *Memorias de la Reunión "El Potencial del Frijol y de otras leguminosas de Grano Comestibles en América Latina*, 26 feb - 1 marzo, Colombia, CIAT, Cali, 1973, p. 13-31.
2. The Nutrition Foundation. *The Effects of Cereals and Legumes on Iron Availability*. A report of the International Nutritional Anemia Consultative Group, June 1982.
3. Bressani, R., D. A. Navarrete, A. García, & L. G. Elías. Culinary practices and consumption characteristics of common beans at the rural home level. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 38 (4): 925-934, 1988.
4. Bressani, R. & L. G. Elías. The nutritional role of polyphenols in beans. In: *Polyphenols in Cereals and Legumes. Proceedings of a Symposium held During the 36th Annual Meeting of the Institute of Food Technologists*. J. H. Hulse, (Ed.) Ottawa, Canada, IDRC, 1979.
5. Bourges, H. El hierro. *Cuadernos de Nutrición*, 6 (7): 3-12, 1983.
6. García-López, S. & C. J. Wyatt. Effect of fiber in corn tortillas and cooked beans on iron availability. *J. Agr. Food Chem.*, 30: 724-727, 1982.
7. Wallis, V & W.G. Jaffé. Hierro soluble y hierro aprovechable en alimentos vegetales.

- Arch. Latinoamer Nutr., 27: 195-204, 1977.
8. Price, M. L., S. Van Scoyoc & L. G. Butler. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agr. Food chem.*, 26: 1214-1218, 1978.
 9. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists AOAC.** 11 th ed. Washington, D.C., 1970.
 10. Narasinga Rao & T. Prabhavathi. An *in vitro* method for predicting the bioavailability of iron from foods. *Amer. J. Clin. Nutr.*, 31: 169-175, 1978.
 11. Bender, A. E. & B. H. Doell. Biological evaluation of proteins: A new aspect. *Brit. J. Nutr. (England)* 11: 140-148, 1957.
 12. Manna, L. & S. M. Hauge. A possible relationship of Vitamin B₁₃ to orotic acid. *J. Biol. Chem.*, 202: 91-96, 1953.
 13. Hegsted, D.M., R.C. Mills, C.A. Elvehjem & E.V. Hart. Choline in the nutrition of chicks. *J. Biol. Chem.*, 138: 459-466, 1941.
 14. Sibrián, R. *Manual de Técnicas de Estadística Simplificadas*, Guatemala, Unidad de Estadística del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 1984.
 15. Bressani, R., L. G. Elías & A. T. Valiente. Effect of cooking and of amino acid supplementation on the nutritive value of black beans (*P. vulgaris*). *Brit. J. Nutr.*, 17: 69-78, 1963.
 16. Braham, J. E. & R. Bressani. Effect of bean broth on the nutritive value and digestibility of beans. *J. Sci. Food Agric.*, 36: 1028-1034, 1985.
 17. Tobin, G. & J. Carpenter. The nutritional value of the dry bean (*Phaseolus vulgaris*): A literature review. *Nutr. Abst. Revs. Series A.* 48: 919-936, 1978.
 18. Bressani, R. & L. G. Elías. The problem of legume protein digestibility. In: *Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders*. L. W. Billingsley (Ed.) Ottawa, Canada, IDRC, p. 61-72, 1977.
 19. Reddy, N. R., M. D. Pierson & S. K. Sathe. Dry beans tannins: A review of nutritional implications. *JAOCS*, 62 (3): 541-549, 1985.
 20. Price, M. L. & L. G. Butler. Tannins and nutrition. *Ag. Exp. Sta. Bull No. 2722*. West Lafayette, Indiana, Purdue University, 1980.
 21. Rockland, L. G. & T. M. Radke. Legume protein quality. *Food Technol.*, 35: 79-82, 1981.
 22. Chang, K. C. & L. D. Satterlee. Chemistry of dry bean proteins. *J. Food Process Preserv.*, 6: 203-225, 1982.
 23. Kakade, M.L., R.L. Arnold, I.E. Liener & P.E. Waibel. Unavailability of cystine from trypsin inhibitors as a factor contributing to the poor nutritive value of Navy beans. *J. Nutr.*, 99: 34-42, 1969.
 24. Harmuth-Hoene, A. E. & E. Schewerdtfefer. Effect of indigestible polysaccharides on protein digestibility and nitrogen relation in growing rats. *Nutr. Metab.*, 23: 399-407, 1979.
 25. Kies, C. & H. M. Fox. Dietary hemicellulose interactions influencing serum lipid patterns and protein nutritional status of adult men. *J. Food Sci.*, 42: 440-443, 1977.
 26. Kakade, M.L. & R.J. Evans. Growth inhibition of rats fed raw Navy beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Nutr.*, 90: 191-198, 1966.
 27. Radhakrishnan, M. R. & J. Sivaprasad. Tannin content of sorghum varieties and their role in iron bioavailability. *J. Agric. Food Chem.*, 28: 55-57, 1980.