

CARACTERIZACION DEL POTENCIAL NUTRICIONAL  
DEL FRIJOL TEPARI (*Phaseolus acutifolius*)  
CULTIVADO EN MEXICO

*Elvira González de Mejía*,<sup>1</sup> *Patricia Grajeda Cota*,<sup>2</sup>  
*Enrique Celada*<sup>3</sup> y *Mauro E. Valencia*<sup>4</sup>

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

RESUMEN

Se estudiaron las características químicas, físicas, antifisiológicas y de calidad biológica de la proteína de tres variedades (blanco, café y negro) de frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*). Se determinó su composición proximal, patrones de absorción de agua, dureza del grano, contenido de taninos, inhibidores de tripsina y presencia de lectinas. Los frijoles fueron también sometidos a estudios de calorimetría diferencial de barrido. El valor nutritivo de sus proteínas fue establecido a través de la razón de eficiencia proteínica (PER) y digestibilidad aparente de proteína (DAP).

Se encontró que el contenido proteínico del frijol es alto (25<sup>o</sup>/o). El frijol blanco tuvo una mayor capacidad de absorción de agua y presentó menor dureza del grano en comparación con las otras variedades ( $P < 0.05$ ). El frijol negro reveló una menor energía de gelatinización de su almidón y un mayor tiempo de cocción en comparación con el frijol blanco y café. El contenido de taninos de las tres variedades fue bajo, particularmente el frijol blanco.

Las actividades de inhibidores de tripsina y capacidad aglutinante de lectinas fueron relativamente altas en el frijol crudo, pero desaparecieron casi totalmente con la cocción.

La calidad biológica de las proteínas de tépari demostró ser superior a la del frijol común cosechado bajo las mismas condiciones, siendo esto más evidente en el

---

Manuscrito modificado recibido: 27-1-88.

<sup>1</sup> Investigadora Titular, Directora del Proyecto Tépari. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., CIAD, Apartado Postal 1735, Hermosillo, 83000 Sonora, México, a quien deben solicitarse los reimpresos.

<sup>2</sup> Estudiante tesista.

<sup>3</sup> Estudiante tesista.

<sup>4</sup> Investigador Titular del Departamento de Nutrición, División de Nutrición y Alimentos del mismo Centro.

caso del frijol blanco (PER = 1.48 respecto a 1.23 del frijol pinto). Se concluye que el frijol tépari constituye una buena fuente proteínica y que además presenta mucho potencial como donador de genes para obtener mejores variedades de frijol desde el punto de vista culinario, nutricio y toxicológico.

## INTRODUCCION

El frijol (*Phaseolus spp*) es un alimento básico que fue domesticado en América desde hace aproximadamente 8000 años (1). Un aspecto determinante en su consumo, consiste en que es una buena fuente proteínica de bajo costo en relación a las proteínas de origen animal (2).

El tipo de frijol más común y de mayor consumo lo constituye el *Phaseolus vulgaris*. Sin embargo en el noroeste de México existen antecedentes del consumo por las tribus indígenas, de una variedad particular de frijol llamado "Tépari" o "frijol del desierto" (*Phaseolus acutifolius*) desde hace varios siglos (3).

Este frijol es una leguminosa comestible, adaptada a condiciones áridas y semiáridas; es muy resistente a condiciones agronómicas adversas así como a altas concentraciones de sales y poca agua. Es igualmente resistente a plagas de insectos y microorganismos, y a diversas enfermedades que normalmente afectan al frijol común (4, 5). Como resultado, bajo las mismas condiciones ecológicas, su producción sobrepasa a otras especies de leguminosas (6, 7). Estas características hacen del frijol tépari un cultivo muy atractivo para zonas áridas en donde no existen sistemas modernos de irrigación. Asimismo, sus cualidades le permiten un mejor manejo post-cosecha principalmente durante el almacenamiento.

El tépari presenta, además, características de protección del suelo, calidad forrajera y calidad nutricional prometedora para consumo humano. Su ingesta en combinación con cereales es nutricionalmente adecuada y a veces superior que el frijol común (8).

En la actualidad, aun cuando el tépari es poco explotado y de bajo consumo, sus características especiales lo han convertido en un donador potencial de genes deseables para la generación de nuevas variedades de frijol común (9-11).

Existen algunos estudios sobre características físicas, químicas y nutricias del frijol tépari (12-14). Sin embargo, éstas han sido evaluadas en forma aislada y no de una manera integral. Por otro lado, el material usado no ha tenido un manejo post-cosecha estandarizado o bien se desconoce. El origen del frijol utilizado ha sido también variado, y ha provenido principalmente de diversas áreas del sur de los Estados Unidos, conociéndose muy poco sobre el tépari mexicano.

Basado en lo anterior, el objetivo de nuestro estudio fue el de evaluar de una manera integral las características físicas, químicas, de valor nutritivo y antifisiológicas del frijol tépari, de origen y manejo post-cosecha conocido, que en la actualidad se está produciendo en el noroeste de México. Ya que este material será utilizado para efectuar entrecruzamientos con *Phaseolus vulgaris*, se espera que la información científica obtenida alertará a los genetistas sobre las principales ventajas y desventajas del tépari en aspectos tan importantes como son el nutritivo, culinario y

toxicológico. Se podrán así lograr mejores variedades de frijol y atender la creciente demanda de esta leguminosa para consumo humano. Además, con el aumento de desertificación en el mundo y la problemática sobre la disponibilidad de agua para cultivo, el frijol tépari o sus híbridos ofrecen una alternativa viable sobre las leguminosas que hoy día se producen y que tan alta demanda tienen de dicho elemento natural.

## MATERIAL Y METODOS

### *Selección del Frijol*

El frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*) utilizado, se obtuvo del campo San Carlos localizado en la Costa de Hermosillo, Sonora, México y correspondió a la cosecha de julio de 1986.

Se estudiaron las variedades de color blanco, café y negro, las cuales fueron cultivadas y cosechadas bajo las mismas condiciones. Debido a que el tamaño del frijol está relacionado con su dureza, la muestra utilizada en este estudio fue seleccionada en base a un tamaño uniforme de grano. El tamaño promedio del blanco era de  $8.6 \pm 0.54$  mm, el del café de  $8.9 \pm 0.47$  mm, y el del negro  $9.1 \pm 0.72$  mm. Después de eliminar el grano dañado, el material se colocó en bolsas de jute, y se mantuvo a 4°C hasta su análisis.

El frijol crudo se trituró en un molino de martillos (Arthur H. Thomas Co., EUA) y se hizo pasar por una malla 40 cuando así se requirió.

### *Preparación de las Harinas del Frijol Cocido*

Se utilizó una cribadora marca Brabender (Brabender, Co., EUA) modelo Labofix para eliminar polvo y grano quebrado, con limpieza manual posterior. Se determinaron los tiempos de cocción con la ayuda de un texturómetro Modelo 1132 (Instron LTP, Mass. EUA), en una celda de 50 kg, y acoplado a un microcon II (Instron Co., Mass. EUA) con una velocidad de cabezal de 5 cm/min y velocidad de graficador de 10 cm/min.

Se emplearon 110 min para la cocción de 6 kg de frijol blanco y 140 min, para una cantidad equivalente de frijol café. Se prepararon pequeñas cantidades de harina de frijol negro con un tiempo de cocción de 140 min, utilizándose un sistema de olla abierta, a presión atmosférica, y una relación de agua:frijol de 10:1. Al término del tiempo, se separó el grano del caldo y se formaron dos grupos. A uno se le agregó caldo en relación a frijol de 3:1 y se molió en una licuadora; el otro grupo permaneció entero y sin caldo. Las muestras se deshidrataron en un secador de túnel a 50-55°C por 8 hr. El análisis proximal se efectuó en triplicado en cada una de las muestras crudas y harinas de frijol cocido, según el método de la AOAC (15).

### *Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)*

Se utilizó un calorímetro Modelo DSC-2 (Perkin Elmer Corp.; CA, EUA), equipado con un enfriador (Intracooler II). La muestra cruda de

los distintos frijoles (3-4 mg) se pesó en recipientes de aluminio en el caso de muestras volátiles; se les agregó agua (1:2) con jeringa, y se sellaron herméticamente. Luego se calentaron de 40 a 140°C a 10°C/min de velocidad de barrido, siendo la sensibilidad de 0.5 mcal/seg. Se usó como referencia un recipiente vacío. Los termogramas se integraron de línea base a línea base, y mostraron buena reproducibilidad.

#### *Patrones de Absorción de Agua*

Los frijoles se sometieron a remojo en agua destilada a 25°C en grupos duplicados de 100 semillas por diferentes intervalos (2-14 hr). Al final del tiempo de remojo, el sobrenadante se decantó; a los frijoles se les eliminó el agua externa con un papel absorbente y se pesaron. Los sólidos del medio de remojo se cuantificaron mediante secado al vacío de alícuotas de dicho medio, por 4 horas a 50°C (16). La absorción de agua se expresó como el porcentaje del peso seco con la corrección por los sólidos perdidos durante el remojo.

#### *Dureza del Grano*

Los frijoles se remojaron por 14 hr en la forma ya descrita; se extrajeron del licor de remojo, y luego se introdujeron en recipientes que contenían agua hirviendo en una relación 1:10 p/p frijol:agua. Se sometieron a cocción por diferentes tiempos, al final de la cual se determinó su dureza usando el mismo texturómetro. Como indicador de dureza se consideró el primer pico del trazo de graficador correspondiente a cada medición, expresándose en kilogramos fuerza (17).

#### *Polifenoles en Frijoles Crudos y Cocidos*

En este caso se usó el procedimiento descrito por Price, Scoycoc y Buttler, el cual utiliza la vainillina, y es específico para taninos condensados (18). Se efectuaron cinco extracciones independientes para cada una de las variedades de frijol crudo y cocido y se analizaron en triplicado. Los resultados se informan como mg de catequina/100 g de muestra.

#### *Lectinas en Frijol Crudo y Cocido*

Las muestras de frijol crudo y cocido se pasaron por una malla No. 40, y una parte de las harinas crudas se extrajo con 10 partes (p/v) de solución de cloruro de sodio al 0.90/o por dos hr, 4°C y con agitación constante. En cuanto a las harinas cocidas, se empleó una parte por 5 de solución salina.

Se ajustó el pH del extracto a 4 con ácido acético 4M y se dejó en reposo toda la noche a 4°C. Luego se decantó el sobrenadante y el sedimento se centrifugó usando una centrífuga (Damon, IEC, Needham Mass., (EUA) (3000 x g, 15 min a 4°C) y se lavó tres veces con una parte de regulador de acetatos 0.2 M a pH 4.

En los extractos se estudió la actividad aglutinante, utilizando el método de diluciones seriadas con una suspensión de eritrocitos al 20/o de sangre humana tipo O tripsinada, y sin tripsinar, en regulador de

fosfatos (19). Se utilizaron placas de microtitulación, con una alícuota de 25  $\mu$ l del extracto. El título de hemaglutinación de los extractos, se definió como el recíproco del factor de dilución máximo que presenta capacidad aglutinante visible.

#### *Inhibidores de Tripsina*

Se utilizó el método de Kakade (20), con las modificaciones sugeridas por Hammerstrand (21), así como una dilución del extracto de frijol en el que se inhibiera del 40-60% de la actividad enzimática. Los análisis se efectuaron en duplicado de extracción, y en triplicado de análisis. Los resultados fueron expresados como actividad inhibitoria de tripsina por gramo de muestra.

#### **Evaluación Biológica**

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

El PER se determinó según el procedimiento establecido oficialmente por la AOAC (15). Se utilizaron ratas macho Sprague Dawley recién destetadas, las que fueron alojadas en jaulas individuales de acero inoxidable con alimento y agua *ad libitum*, a una temperatura de  $26 \pm 1^\circ\text{C}$  y una humedad relativa que fluctuaba entre 55 y 65%. El período experimental fue de 28 días, y se usó caseína-ANRC al 10% como control, al igual que los tratamientos de prueba. La composición de la dieta basal se da a conocer en la Tabla 1 y fue formulada equicalóricamente. No se hizo evaluación biológica en el frijol negro.

##### *Digestibilidad Aparente de Proteína (DAP)*

La DAP fue determinada utilizando la relación de concentración de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y proteína en la dieta experimental y en las heces, de acuerdo a Valencia (22). Las heces se colectaron durante la última semana del experimento PER.

##### *Diseño Experimental*

El diseño para el PER fue completamente al azar y estructurado como factorial  $2^2$  ó  $2 \times 2$ , con dos factores y dos niveles para cada factor, cuatro tratamientos y seis repeticiones por tratamiento de acuerdo al modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j (T\beta)_{ij} + \xi_{ijk};$$

$$\begin{aligned} i &= 1, \dots, 2 \\ j &= 1, \dots, 2 \\ k &= 1, \dots, 6 \end{aligned}$$

Los factores fueron:

Variedad (A):	Tépari blanco y café .
Adición de caldo (B):	Con caldo y sin caldo.

TABLA 1

COMPOSICION DE LA DIETA BASAL USADA EN LA EVALUACION BIOLÓGICA DE LA PROTEÍNA<sup>1</sup>

Ingrediente <sup>2</sup>	o/o
Aceite de cártamo	8.0
Pre-mezcla vitamínica <sup>3</sup>	1.0
Pre-mezcla mineral <sup>4</sup>	5.0
Trióxido de cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.2
Celulosa	1.0
Agua	5.0
Fuente de proteina para formular al 10 <sup>o</sup> /o	Variable
Almidón y dextrosa para aforar al 100 <sup>o</sup> /o	Variable

- 1 El aceite, minerales, celulosa y agua fueron ajustados de acuerdo al análisis proximal de los ingredientes. Las muestras se calcularon como (1.6<sup>o</sup>/o N en la muestra) x 100, de acuerdo al método 43.212 de la AOAC, aplicable a fuentes de más de 1.8<sup>o</sup>/o de N.
- 2 Todos los ingredientes son de Bioserv, N.J., EUA, excepto el aceite y Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- 3 La pre-mezcla vitamínica contiene lo siguiente en g/kg de dieta: ácido ascórbico 0.45, biotina 0.0002, pantotenato de calcio 0.03, colina 0.633, ácido fólico 0.0009, inositol 0.05, menadiona 0.02, niacina 0.04, ácido paraminobenzóico 0.05, piridoxina 0.01, riboflavina 0.01, tiamina 0.01, vitamina A 9000 UI, vitamina B 0.01 mg, vitamina D 1000 UI, vitamina E 25 UI.
- 4 La pre-mezcla mineral contiene lo siguiente en g/kg de dieta: aluminio 0.0005, calcio 11.08, cloro 4.79, cobre 0.0175, flúor 0.0027, yodo 0.0030, hierro 0.385, magnesio 0.3812, azufre 0.1162, zinc 0.0637, manganeso 0.0055, fósforo 2.5305, potasio 5.8820 y sodio 1.369.

Con dos factores existen dos efectos principales, A y B y una interacción doble AB. Esto se probó a través de análisis de varianza posterior a la prueba de Bartlett para corroborar homogeneidad de varianza (23).

En el proceso de aleatorización se asignaron las unidades experimentales a cada tratamiento mediante un cuadro de números aleatorios, procedimiento que también fue utilizado para la posición de cada tratamiento en el estante de jaulas. Antes del inicio del experimento, se verificó que no hubiera diferencia significativa de peso entre los tratamientos.

Para el análisis estadístico de las pruebas químicas, físicas y antifisiológicas, se usó análisis de varianza de un criterio de clasificación; además, se efectuó la prueba de Tukey para determinar diferencias específicas entre grupos (24).

## RESULTADOS Y DISCUSION

*Análisis Proximal*

El principal atributo nutritivo, la proteína, se encuentra en un 23<sup>o</sup>/o

(base húmeda) y 25% (base seca) (Tabla 2), correspondiendo a los valores promedio encontrados por Scheerens para frijol tépari (12). Este valor es ligeramente mayor que el encontrado en otros frijoles cultivados bajo distintas condiciones ecológicas. El contenido de grasa, cenizas y carbohidratos totales es similar al de otras variedades comunes de *Phaseolus* (25). Por otro lado, la humedad de 9% encontrada es significativamente menor que el del *P. vulgaris* cultivado en regiones tropicales (26).

TABLA 2

## ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS TRES VARIEDADES DE FRIJOL TEPARI

	Blanco	Café	Negro
Proteína (o/o)	23.7 ± 0.19 <sup>a</sup>	23.2 ± 1.13	22.8 ± 0.24
Grasa (o/o)	1.1 ± 0.02	1.1 ± 0.04	1.1 ± 0.00
Cenizas (o/o)	4.1 ± 0.17	4.1 ± 0.18	4.3 ± 0.08
Carbohidratos totales (o/o) <sup>b</sup>	61.4 ± 0.33	62.5 ± 1.15	63.1 ± 0.24
Humedad (o/o)	9.7 ± 0.34	9.1 ± 0.12	8.7 ± 0.04

a  $\bar{x} \pm DE$  de tres determinaciones.

b Calculado por diferencia, incluye fibra cruda, almidón y otros carbohidratos.

Respecto a la composición proximal de las harinas de frijol cocido, ésta se mantuvo prácticamente igual, a excepción de que las harinas con caldo acusaron mayor contenido de cenizas (Tabla 3).

*Calorimetría Diferencial de Barrido*

No se encontraron en la literatura datos sobre temperaturas de gelatinización del almidón, ni desnaturalización de proteínas, así como tampoco valores de entalpías para frijol tépari. No obstante, nuestros datos comparan satisfactoriamente con las temperaturas informadas para frijol pinto (27), con una endoterma asignada a la gelatinización del almidón a 81°C y de alrededor de 96°C para la que posiblemente corresponda a la desnaturalización de proteínas (Fig. 1 y Tabla 4). Estos parámetros son importantes, ya que dependen de las características fisicoquímicas del sistema biológico estudiado, si los parámetros como disponibilidad de agua, velocidad de calentamiento y solutos se mantienen constantes (28-31). Solamente en el frijol negro se constataron diferencias significativas del calor de gelatinización del almidón y temperatura de desnaturalización de proteínas.

Los valores de entalpías de gelatinización para almidón, dependen del grado de puentes de hidrógeno inter e intramoleculares en su molécula. Desde un punto de vista nutritivo, ello resulta interesante ya que disminuciones en la energía de gelatinización del almidón podrían ser un reflejo del grado de almidón dañado (31). Al realizar correlaciones entre la dureza

TABLA 3

ANALISIS PROXIMAL DE LAS HARINAS DE FRIJOL  
TEPARI CAFÉ Y BLANCO COCIDO (BASE SECA)

	Blanco		Café	
	Sin caldo	Con caldo	Sin caldo	Con caldo
Proteína (O/o)	24.7	26.7	24.7	24.1
Grasa (O/o)	1.1	1.1	1.2	0.9
Cenizas (O/o)	3.7	4.7	3.4	4.7
Fibra cruda (O/o)	2.7	2.5	3.1	2.4
Carbohidratos (O/o) <sup>a</sup>	67.8	65.0	67.6	67.9

a Carbohidratos totales obtenidos por diferencia.

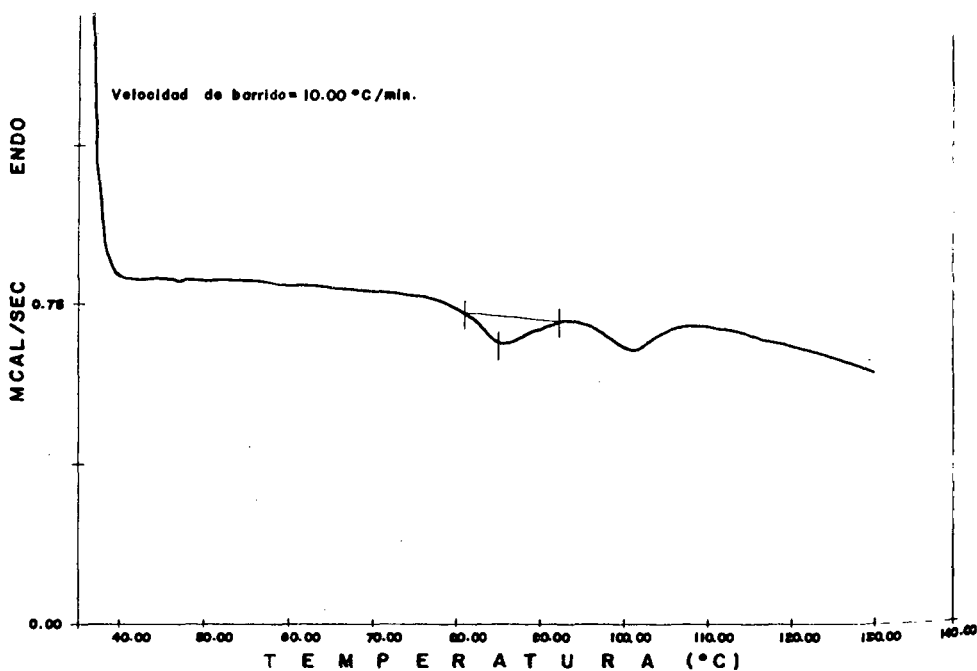


FIGURA 1

Termograma del frijol tépari crudo

TABLA 4

**TEMPERATURAS Y ENTALPIAS DE GELATINIZACION DEL  
ALMIDON Y DESNATURALIZACION DE PROTEINAS DE  
FRIJOL TEPARI**

	Blanco	Café	Negro
Temperatura de gelatinización del almidón	81.6 <sup>a</sup>	83.2 <sup>a</sup>	81.3 <sup>a</sup>
Calor de gelatinización del almidón - $\Delta$ HG (Cal/g frijol)	0.61 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	0.31 <sup>b</sup>
Temperatura de desnaturalización de proteínas (C)	96.9 <sup>a</sup>	98.3 <sup>a</sup>	94.2 <sup>b</sup>
Calor de desnaturalización de proteínas - $\Delta$ HG (Cal/g frijol)	0.35 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>

a, b Medias con diferente superíndice son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

inicial del frijol café, blanco y negro respecto a la entalpia de gelatinización, se observó que no fueron significativas ( $P > 0.05$ ).

Para las muestras cocidas no se encontraron endotermas, lo que significa que durante la cocción del frijol el almidón fue por completo gelatinizado.

#### *Absorción de Agua*

El patrón de absorción de agua en relación al tiempo de remojo, se muestra en la Figura 2. Los valores fueron corregidos por la pérdida de sólidos totales en el agua de remojo.

El frijol blanco y negro absorben agua rápidamente en las dos primeras horas, mientras que al frijol café le toma alrededor de cuatro horas. El tiempo en que se alcanzó el 100% de hidratación fue de dos hr para el blanco, de siete y media a ocho hr para el negro, y de 11 horas para el café con una temperatura del agua de 25°C, lo que indica que cada variedad tiene diferente capacidad de absorción de agua. Este fenómeno, sin embargo, no está relacionado con el tiempo de cocción de los frijoles, lo que concuerda con el comportamiento del frijol negro común (16).

#### *Dureza*

Los datos de dureza para diferentes tiempos de cocción, se exponen tabulados en la Tabla 5. En ésta se incluye el porcentaje de granos

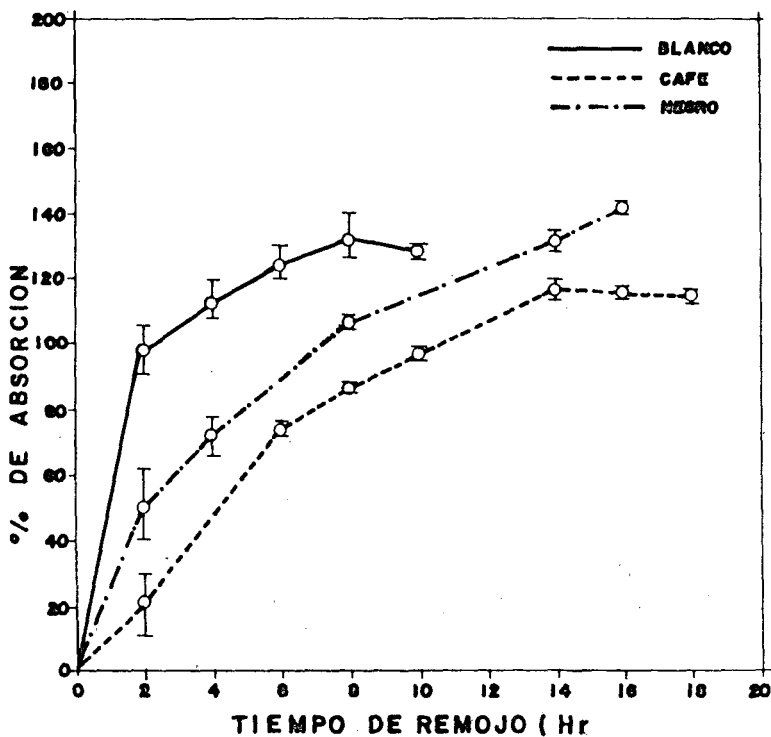


FIGURA 2

Velocidad de hidratación del frijol tepari recién cosechado y remojado a 25°C

abiertos, ya que éste ha sido criterio usado para la evaluación subjetiva de tiempos de cocción (32).

El aumento en el tiempo de cocción resultó en la disminución de la dureza. La magnitud de estos efectos, sin embargo, se vio afectada por la variedad de la semilla, requiriéndose más tiempo para el frijol negro que para las otras variedades estudiadas, a fin de lograr la misma fuerza de corte.

Al efectuar el análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las tres variedades de frijol y la dureza inicial de grano.

El comportamiento de los frijoles cocidos fue semejante al observado por Kabbara, en lo que al proceso de ablandamiento se refiere (33).

TABLA 5

**DUREZA DE GRANOS DE TRES VARIEDADES DE FRIJOL CON  
RESPECTO AL TIEMPO DE COCCIÓN Y PORCENTAJE DE  
GRANOS ABIERTOS<sup>a</sup>**

Variedad	Tiempo de cocción (min)	Dureza <sup>b</sup> (kg)		Granos abiertos (%)
		x ± DE	Intervalo <sup>c</sup>	
Blanco	0	1.29 ± 0.23	0.86 — 1.73	0
	50	0.24 ± 0.04	0.16 — 0.29	36
	70	0.18 ± 0.04	0.12 — 0.22	64
	90	0.17 ± 0.03	0.14 — 0.23	74
Negro	0	1.49 ± 0.27	0.98 — 1.9	0
	80	0.25 ± 0.04	0.20 — 0.32	34
	100	0.26 ± 0.06	0.15 — 0.34	36
	120	0.18 ± 0.04	0.11 — 0.24	42
	140	0.19 ± 0.05	0.10 — 0.25	42
Café	0	1.70 ± 0.18	1.31 — 2.05	0
	60	0.21 ± 0.05	0.15 — 0.30	14
	80	0.23 ± 0.02	0.21 — 0.26	28
	100	0.19 ± 0.06	0.14 — 0.32	32
	120	0.13 ± 0.04	0.07 — 0.18	48
	140	0.12 ± 0.03	0.09 — 0.18	58

a Previamente remojado por 14 horas a 25°C.

b Se efectuó un duplicado de 25 semillas para cada tiempo de cocción.

c Indica los valores más bajos y más altos de fuerza que se obtuvieron en las diferentes medidas.

## Factores Antifisiológicos

### *Inhibidores de Tripsina*

Los niveles de los factores que afectan la utilización biológica del frijol se resumen en la Tabla 6. Se presentan los valores encontrados en el frijol crudo y en el cocido, bajo condiciones que asemejan los métodos de preparación por los pobladores del noroeste de México (34).

Kabbara y colaboradores (33) encontraron que los inhibidores de tripsina de frijol tépari son lábiles al calor, aun bajo condiciones moderadas de calentamiento. En este estudio, se logró una reducción de 99.95% para el frijol blanco, el cual fue cocido a ebullición (98°C) por 110 min. Para el frijol café y negro se lograron reducciones de 99.96% al

TABLA 6

CONTENIDO DE LECTINAS, POLIFENOLES E INHIBIDORES DE TRIPSINA DE TRES VARIEDADES DE FRIJOL TEPARI RECIEN COSECHADO, CRUDO Y COCIDO

	Inhibidores de tripsina (UIT/mg)	Taninos condensados (mg catequina) 100 g	Lectinas <sup>1</sup>	Lectinas <sup>2</sup>
Frijol blanco crudo	15.0 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>14</sup>
Cocido y molido con caldo	7.8x10 <sup>-3</sup>	ND <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>
Cocido sin caldo	6.6x10 <sup>-3</sup>	ND	2 <sup>1</sup>	ND
Frijol café crudo	13.4 <sup>b</sup>	141 <sup>b</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>13</sup>
Cocido y molido con caldo	4.5x10 <sup>-3</sup>	ND	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>
Cocido sin caldo	4.0x10 <sup>-3</sup>	ND	ND	ND
Frijol negro crudo	12.6 <sup>b</sup>	54 <sup>c</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>14</sup>
Cocido y molido con caldo	5.0x10 <sup>-3</sup>	ND	ND	2 <sup>1</sup>
Cocido sin caldo	4.0x10 <sup>-3</sup>	ND	2 <sup>1</sup>	2 <sup>1</sup>

1 Análisis efectuado con células rojas de humano tipo O. Los valores representan valores promedio de títulos de la última dilución capaz de aglutinar eritrocitos.

2 Análisis efectuado en células rojas de humano tipo O tripsinado.

3 ND = No detectado con la metodología usada.

a,b,c Las medias con superíndices diferentes en la misma columna significan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

someterlos a 140 min de ebullición. Los valores encontrados en el estudio que aquí se presenta, para las tres variedades de frijol, están dentro de los niveles bajos y medios de los informados por Hernández-Infante, Herrador-Peña y Sotelo-López para variedades mexicanas de *P. vulgaris* (35), y representan el 50% de lo informado para frijol tépari de Arizona (8).

### Lectinas

Los extractos crudos de frijol mostraron actividad aglutinante con tipos O, A y B de células de sangre humana. Se encontraron niveles de lectinas semejantes para frijol crudo, si estos valores se comparan con lo notificado en otro estudio, en el que también se utilizaron eritrocitos humanos del tipo O (8).

Los valores de lectinas encontrados para tépari en la literatura son muy contrastantes. Debe tenerse en cuenta que existen muchos factores

que afectan dichos resultados como son la edad de las semillas, la selección de los procedimientos de extracción, el tipo y fuente de eritrocitos e información sobre su tratamiento previo. Sin embargo, al comparar el contenido de lectinas del tépari con el de otras leguminosas, consistentemente se encuentran valores más altos para el tépari (36-38). Por este motivo, es recomendable complementar esta información con datos fisicoquímicos e inmunológicos, los cuales harán más confiables su interpretación.

El uso de células tripsinadas ha sido correlacionado con la toxicidad potencial de los frijoles (39). En la Tabla 6 se observa un aumento considerable en el contenido de lectinas en contraste con la prueba sin tripsinar, en frijol crudo. Se consideró relevante efectuar esta prueba en las harinas cocidas, encontrándose que los tratamientos térmicos usados inactivaron completamente a la lectina, si se tiene en cuenta que la variabilidad del método es  $\pm 2$  diluciones seriadas.

Aun cuando la lectina del tépari se ha relacionado con la resistencia de la semilla al gorgojo *Acanthoscelides obtectus* (40) no se recomienda su transferencia al frijol común, hasta tanto no existan estudios completos sobre los posibles efectos toxicológicos y de valor nutritivo de dicha lectina. Por otro lado, la posibilidad de obtener leguminosas con valores bajos o ninguno de dichos tóxicos naturales, sería más interesante.

#### *Taninos (Fenoles Condensados o Polímeros de Proantocianidinas)*

El frijol tépari presenta valores de taninos siete veces menor para el de color café y cuatro veces menor para el negro que los encontrados para algunos cultivares de *P. vulgaris* (41).

Esto es muy favorable desde el punto de vista de valor nutritivo, ya que la presencia de tales compuestos ha sido asociada con las disminuciones en la digestibilidad proteínica, en la ingesta de alimentos, y con la absorción intestinal de hierro inorgánico (42).

Es importante hacer notar que en el presente estudio se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre el color y el contenido de taninos. Además, se sugiere una relación entre absorción de agua y contenido de taninos. Los resultados obtenidos en las harinas de frijol cocido con y sin caldo revelan, en parte, problemas de solubilidad de los mismos debido a asociaciones con pequeñas cantidades de proteínas o carbohidratos, los cuales se unen en solución acuosa. Asimismo, es importante considerar la descomposición que sufren estos compuestos durante la ebullición (43). Además, debido a las interacciones hidrofóbicas de los taninos con proteínas, la asociación de dichos complejos se ve favorecida por la temperatura y la liberación de sales en el medio de cocción (44).

#### *Evaluación Biológica*

El análisis del experimento factorial del PER revela que el efecto de variedad tuvo el nivel de significancia más alto ( $P < 0.0001$ ). Como se aprecia en la Tabla 7, el frijol blanco tuvo valores más altos: 1.47 y 1.38, comparado con 1.16 y 0.92 en el café. Por otra parte, el efecto del caldo resultó ser significativo ( $P < 0.05$ ) sólo en el caso del frijol café donde el PER disminuyó.

Esta situación puede estar relacionada principalmente con la diferencia

en contenido de taninos en función del color del frijol (45). En el caso del tépari, el contenido de taninos de la variedad café en crudo fue mayor ( $P < 0.05$ ) que en la blanca, 141 y 20 mg de catequina/100 g, respectivamente (Tabla 6). En el frijol cocido, con y sin caldo, no se pudieron cuantificar taninos condensados, en parte debido a la unión de éstos a las proteínas, durante la cocción, donde los complejos resultantes no pueden ser detectados por el método utilizado (46), o bien debido a pérdidas por oxidación durante el proceso de cocción (47).

TABLA 7

VALOR NUTRITIVO DE PROTEINA DE ACUERDO AL PER Y DAP  
PARA EL FRIJOL TEPARI BLANCO Y CAFE

Tratamiento	PER	A-PER	Digestibilidad aparente de proteína (DAP) o/o
Frijol blanco sin caldo	1.47 <sup>a</sup>	1.48	77.15
Frijol blanco con caldo	1.38 <sup>a</sup>	1.39	78.04
Frijol café sin caldo	1.16 <sup>b</sup>	1.16	75.82
Frijol café con caldo	0.92 <sup>c</sup>	0.93	76.78
Caseína - ANRC	2.48	2.50	91.58

a, b, c Las medias con diferente superíndice son significativamente distintas ( $P < 0.05$ ), prueba de SNK.

Un aspecto relevante fue el hecho de que una variedad de tépari, la blanca, resultó tener valores de PER más altos ( $P < 0.05$ ) que los encontrados en frijol común de la variedad pinto (*Phaseolus vulgaris*). Esto pudo observarse al comparar los resultados con un estudio similar y simultáneo en que se evaluó la calidad proteínica del frijol pinto, encontrándose que el PER máximo era de 1.23.

Finalmente, los datos de digestibilidad aparente de proteína muestran la misma tendencia que los datos del PER, con valores más altos para la variedad blanca que para la café.

En general, los resultados indican que las tres variedades de frijol tépari constituyen una buena fuente proteínica. La calidad biológica de sus proteínas, en particular de la variedad blanca, es superior al frijol común pinto cosechado bajo las mismas condiciones. El contenido de taninos del frijol tépari es bajo, siendo esto más marcado en el frijol blanco. Dichas características —que contrastan al frijol tépari con el frijol común— hacen a esta leguminosa particularmente atractiva como donador potencial de genes para lograr mejores variedades. El tiempo de cocción del frijol blanco fue menor que el de las otras dos variedades, lo que hace a este tipo particular de frijol, no sólo nutricionalmente mejor, sino también superior desde el punto de vista culinario.

El hecho de que el frijol negro tenga una mejor energía de gelatinización de su almidón, sugiere que existen más interacciones de éste con

otras moléculas del grano. En cierta medida ello se refleja por un mayor tiempo de cocción comparado con el blanco y el café, lo que redundaría en un mayor gasto energético.

También puede concluirse que la variedad café con un mayor contenido de taninos, debe someterse a remojo y eliminar el licor de remojo previo a su cocción, con el fin de lograr un mejor aprovechamiento proteínico.

Los factores antifisiológicos, tales como inhibidores de tripsina y lectinas, aunque relativamente altos en el estado crudo, sus niveles desaparecen casi del todo con el procesamiento. Esto quiere decir que, en la práctica, no constituyen un riesgo para la salud, siempre y cuando se cocine bien el frijol.

Conocer los cambios que sufren estos frijoles durante el almacenamiento es también de importancia, y éste es un tema que continuará siendo objeto de estudio en nuestros laboratorios, como seguimiento a la investigación aquí descrita.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al M. en C. Augusto Trejo por introducirnos al estudio del frijol tepari, así como al Sr. Pedro Mahieux por donar el frijol objeto de estudio. A la Srta. Ana María Calderón por facilitarnos los implementos necesarios para efectuar el análisis de lectinas, y al M. en C. Alberto González León por su asesoría en el uso del calorímetro diferencial de barrido.

El estudio en cuestión se llevó a cabo con apoyo de la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica (D.G.I.C.S.A.). Convenio C86-01-0205 de la Secretaría de Educación Pública de México.

#### SUMMARY

##### CHARACTERIZATION OF THE NUTRITIONAL POTENTIAL OF TEPARY BEAN (*Phaseolus acutifolius*) GROWN IN MEXICO

The chemical, physical, antiphsiological and biological quality of the protein of three varieties (white, brown and black) of tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) were studied.

Its proximate composition was determined, as well as water absorption, hardness of the seed, tannin content, trypsin inhibitors and lectins. Beans were also submitted to differential scanning calorimetry of the starch. The biological quality of its proteins was also established, based on the protein efficiency ratio (PER) and protein apparent digestibility.

It was found that the protein content of the bean was high (25%). The white variety had the highest water absorption and the lowest hardness of the seed when compared with the other varieties ( $p < 0.05$ ). The black variety had a lower starch gelatinization energy and a higher cooking time than the white and brown varieties. The tannin content of the three varieties was low, particularly in the white one.

The trypsin inhibitor and lectin content were relatively high in the raw beans, but disappeared almost totally during cooking.

The biological quality of the tepary proteins was higher than that of the common bean cultivated under the same conditions, More evidently so in the white bean (PER = 1.48 as compared to 1.23 in pinto bean). It can be concluded that the tepary bean is a potentially good protein source and has also a great potential ad donor of genes for the obtention of better bean varieties from the culinary, nutritional and toxicological points of view.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Nabham, G. P. & R. S. Felger. Teparies in Southwestern North America: A biogeographical and ethnohistorical study of *Phaseolus acutifolius*. *Econ. Bot.*, **32**: 2-19, 1978.
2. Bressani, R. & L. G. Elías. Legume foods. En: **New Protein Foods**. Vol. 1. Technology. Part A. Aaron M. Altschul (Ed.). New York, N. Y., Academic Press, Inc., 1974, p. 230-294.
3. Wyllys, R. K. *Hist. Rev.*, **6**: 111-1576. En: **Tepary Beans, O'odham Farmers and Desert Field**. G. P. Nabham and H. Teiwes (Eds.). *Desert Plants (University of Arizona)*, Vol. I, 1983.
4. Marsh, L. E. & D. W. Davis. Influence of high temperature on the performance of some *Phaseolus* species at different developmental stages. *Euphytica*, **34**: 431-439, 1985.
5. Parsons, L. R. & T. K. Howe. Effects of water stress on the water relations of *Phaseolus vulgaris* and the drought resistant *Phaseolus acutifolius*. *Plant Phys.*, **60**: 197-202, 1984.
6. Markhart, A. H. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Phys.*, **77**: 113-117, 1985.
7. Martínez, R. **El Tepari: Aspectos Históricos, Agronómicos, Ecológicos y Socio-económicos de su Cultivo**. Tesis. Escuela de Agricultura, Universidad de Sonora, México, 1980.
8. Tinsley, A. M., J. C. Scheerens, J. O. Alegbejo, F. H. Adan, K. C. Krumhar, L. E. Buttler & M. J. Kopplin. Tepary beans (*Phaseolus acutifolius* var *latifolius*): A potential food source for African and Middle Eastern Cultures. *Qual. Plant Food Hum. Nutr.*, **35**: 87-101, 1985.
9. Mok, D. W. S., M. C. Mok & Rabakoarihanta. Interspecific hybridation of *Phaseolus vulgaris* with *P. lunatus* and *P. acutifolius*. *Theor. Appl. Genet.*, **52**: 209-215, 1978.
10. Thomas, C. V., R. M. Manshardt & J. G. Waines. Teparies as a source of useful traits for improving common beans. *Desert Plants (University of Arizona)*, **5**: 43, 1983.
11. Thomas, C. V. & J. G. Waines. Fertile backcross and allotetraploid plants from crosses between tepary beans and common beans. *J. Heredity*, **75**: 93-98, 1984.
12. Scheerens, J. C., A. M. Tinsley, I. R. Abbas, C. W. Weber & J. W. Berry. The nutritional significance of tepary bean consumption. *Desert Plants University of Arizona* **5**: 11, 1983.
13. Taggart, R., R. Storey & N. Bower. Nutritional evaluation of tepary beans: Elementary analysis of seed. *J. Plant Nutrition*, **6**: 983-988, 1983.
14. Thorn, K. A., A. M. Tinsley, C. W. Weber & J. W. Berry. Antinutritional factors and legumes of the Sonora desert. *Ecol. Food Nutr.*, **13**: 251-256, 1983.
15. Association of Official Agricultural Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 21st ed. Washington, D. C., The Association, 1984.

16. Jackson, M. & E. Varriano-Marston. Hard-to-cook phenomenon in beans: Effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. *J. Food Sci.*, **46**: 799-803, 1981.
17. Sefa-Dedeh, S., D. W. Stanley & P. W. Voisey. Effects of soaking time and cooking on texture and microstructure of cowpeas (*Vigna unguiculata*). *J. Food Sci.*, **43**: 1832, 1978.
18. Price, M. L., S. Scoycoc & L. G. Buttler. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannins in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.*, **26**: 1214-1218, 1978.
19. Jaffé, W. G., O. Brucher & A. Palazzo. Detection of four types of specific phytohemagglutinins in different lines of beans (*Phaseolus vulgaris*). *Z. Immun. Forsch. Bd.*, **14**: 439, 1972.
20. Kakade, M. L., J. J. Rackis, J. E. McGleen & G. Puski. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.*, **51**: 376-382, 1974.
21. Hammerstrand, G.E., L.T. Black & J.D. Glover. Trypsin inhibitors in soy products: modification of the standard analytical procedure. *Cereal Chem.*, **58**: 42-45, 1981.
22. Valencia, M. E., M. G. Vavich, C. W. Webber & B. L. Reid. Protein quality evaluations of corn tortillas, wheat flour tortillas, pinto beans, soybeans and their combinations. *Nutr. Repts Internat.*, **19**: 195, 1979.
23. Bartlet, M. S. Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. *J. Roy. Statis. Soc. Suppl.*, **4**: 137-170, 1937.
24. Zar, J. H. *Biostatistical Analysis*. 2nd ed. Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall, Inc., 1984.
25. Ortega, M. L., C. Rodríguez & E. Hernández. Análisis bioquímico exploratorio de grano de los genotipos de *Phaseolus vulgaris* L. y *P. coccineus* cultivados en México. *Fitotecnia Latinoamericana*, **10**: 70-74, 1974.
26. Mejía, E. G. de. Efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre el desarrollo de la dureza del frijol. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, **32**: 258-274, 1982.
27. Vindiola, O. L., P. A. Seib & R. C. Hosney. Accelerated development of the hard to-cook state in beans. *Cereal Chem.*, **31**: 538-552, 1986.
28. Arntfield, S. D. & E. D. Munray. The influence of processing parameters on food protein functionality. I. Differential scanning calorimetry as an indicator of protein denaturation. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, **14**: 289, 1981.
29. Donovan, J. W. & C. J. Mapes. Multiple phase transition of starch and nageli amyloextrins. *Starch*, **32**: 190, 1980.
30. Eliasson, A. C. Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. *Starch*, **32**: 270, 1980.
31. Wootton, M. & A. Bamunuarachchi. Application of differential scanning calorimetry to starch gelatinization. I. Commercial native and modified starches. *Starch/Starke*, **31**: 262-264, 1979.
32. Muneta, P. The cooking time of dry beans after extended storage. *Food Technol.*, **18**: 1240, 1964.
33. Kabbara, S. A. R., I. R. Abbas, J. C. Scheerens, A. M. Tinsley & J. W. Berry. Soaking and cooking parameters of tepary beans: Effects of cooking time and cooking temperature on hardness and activity of nutritional antagonists. 1986. (En prensa).
34. Bouscaren, S. J., J. G. Waines & L. A. Boykin-Bouscaren. Cultivation and use of teparies in Sonora, México. *Desert Plants (University of Arizona)*, **5**: 38-42, 1983.

35. Hernández-Infante, M., G. Herrador-Pena & A. Sotelo-López. Nutritive value of two different beans (*Phaseolus vulgaris*) supplemented with methionine. **J. Agric. Food Chem.**, **27**: 965-968, 1979.
36. Jaffé, W. G. Hemagglutinins (lectins). En: **Toxic Constituents of Plants Food-stuffs**. Irvin E. Liener (Ed.). London, New York, Academic Press, 1980, p. 73-102.
37. Pusztain, A., R. R. D. Croy, G. Grant & J. C. Stewart. Seed lectins: Distribution, location and biological role. En: **Seed Proteins**. J. Daussant, J. Mosse and J. Vaughan (Eds.). London, New York, Academic Press, 1983, p. 53-82.
38. Sotelo-López, A., M. Hernández-Infante & M.E. Arteaga-Cruz. Trypsin inhibitors and hemmagglutinins in certain edible leguminosae. **Arch. Inv. Med.**, **9**: 1, 1978.
39. Liener, I. E. The nutritional significance of the plant lectins. En: **Antinutrients and Natural Toxicants in Food**. R. L. Ory (Ed.). Westport, Conn., Food Nutrition Press, Inc., 1981, p. 143-157.
40. Pratt, R. A. A Physiological Genetic Approach for Improving Stress Tolerance in *Phaseolus vulgaris* L. Via Gene Transfer from *Phaseolus acutifolius*, A. Gray. Thesis. Purdue University, 1985.
41. Linares, S., C. M. Bosque, L. Elías & R. Bressani. Características tecnológicas y nutricionales de 20 cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). I. Características físicas del grano. **Turrialba**, **31**: 1-10, 1981.
42. International Nutritional Anemia Consultative Group. **The Effects of Cereals and Legumes on Iron Availability**. Washington, D. C., The Nutrition Foundation, Inc., 1982.
43. Foo, L. Y. & L. J. Porter. The phytochemistry of proanthocyanidin polymers. **Phytochemistry**, **19**: 1747-1754, 1980.
44. Oh, H. I., J. E. Hoff, G. S. Armstrong & L. A. Hoff. Hydrophobic interaction in tannin-protein complexes. **J. Agric. Food Chem.**, **28**: 393-397, 1980.
45. Bressani, R. & L. G. Elías. The nutritional role of polyphenols in beans. En: **Polyphenols in Cereal and Legumes**. J. H. Hulse (Ed.). Ottawa, Canada. International Development Research Centre, 1980, p. 61-72.
46. Butler, L.G., M.L. Price & J.E. Brotherton. Vanillin assay for proanthocyanidins (condensed tanins): Modification of the solvent for estimation of the degree of polymerization. **J. Agric. Food Chem.**, **30**: 1087-1089, 1982.
47. Haslam, E. Vegetable tannins. En: **The Biochemistry of Plants. A Comprehensive Treatise**. P.K. Stumpf and E.E. Conn (Eds.). Vol. 7. New York, N. Y., Academic Press, Inc., 1981, p. 27-556.