

DIGESTIBILIDAD DEL ALMIDÓN EN DIFERENTES VARIEDADES

DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

Apolonio Vargas-Torres, Perla Osorio-Díaz, Edith Agama-Acevedo, Leticia Morales-Franco y Luis A. Bello-Pérez

RESUMEN

Se estudió la composición química y la digestibilidad del almidón de cuatro variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). No se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) en el contenido de proteína y el contenido de lípidos fue bajo pero sin diferencias apreciables. Estos frijoles son buena fuente de minerales (3,67-5,15% cenizas). El valor de almidón total (AT) menor fue para la variedad Flor de Mayo (34,70%) y el mayor para Peruano (42,81%) y Mayocoba (40,24%). Los valores mayores de almidón disponible (AD) se determinaron en las variedades Flor de Mayo (32,27%) y Peruano (31,60%), y los

menores en las variedades Mayocoba (22,87%) y Negro (21,7%). La variedad Flor de Mayo presentó el menor valor (2,43%) de almidón resistente (AR), y las variedades con el mayor valor de AT (40,24-42,81%) también tuvieron el valor más alto de AR (5,41-6,4%). Las variedades Flor de Mayo y Peruano mostraron los mayores porcentajes ($p \leq 0,05$) de hidrólisis (34-37%), lo que coincidió con sus valores de AD. La predicción del índice glucémico (pIG) fue mayor en la variedad Peruano (68,69), y menor en Mayocoba (57,88) y Negro (58,40). Estos valores de pIG se consideran bajos.

SUMMARY

The chemical composition and starch digestibility of four common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties were studied. Protein content was not significantly different ($p \leq 0,05$) and lipid content was low, with no appreciable differences. Beans are a good source of minerals (3.67-5.15% ash content). The Flor de Mayo variety presented the lowest total starch (TS) content (34.70%), while the Peruano (42.81%) and Mayocoba (40.24%) varieties showed the highest ones. Flor de Mayo (32.27%) and Peruano (31.60%) also showed the highest available starch (AS) levels, and the lowest ones were in Mayocoba

(22.87%) and Negro (21.7%). The lowest resistant starch (RS) level was in Flor de Mayo (2.43%) and the varieties with higher TS (40.24-42.81%) also had higher RS content (5.41-6.4%). The highest ($p \leq 0,05$) hydrolysis percentages (34-37%) were measured in Flor de Mayo and Peruano, coinciding with their AS values. The highest predicted glucemic index (pGI) was determined in Peruano (68.69), and the lowest in Mayocoba (57.88) and Negro (58.40) varieties. The pGI values obtained for these bean varieties are considered to be low.

Introducción

Uno de los componentes importantes en la dieta para gran parte de las poblaciones de países en vías de desarrollo son las leguminosas, debido a que son una fuente rica y económica de proteínas y calorías (Rehman *et al.*, 2001). Entre las leguminosas de mayor consumo, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ocupa un lugar importante en África,

India y América Latina (Sathe *et al.*, 1982; Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993).

Los carbohidratos constituyen la fracción principal en los granos de las leguminosas (60% del peso seco). Los polisacáridos más importantes de las leguminosas son el almidón, los polisacáridos de la pared celular (fibra dietética) y los oligosacáridos, que se encuentran en cantidades pequeñas aunque significativas

(Bravo *et al.*, 1998). El almidón es uno de los componentes principales de la dieta humana (Skrabanja *et al.*, 1999) y hasta hace algunos años era considerado como un carbohidrato disponible que era completamente digerido y absorbido en el intestino delgado de los humanos. Sin embargo, se observó que una fracción del almidón resiste la hidrólisis por las enzimas digestivas. Esta fracción se

denomina almidón resistente (AR) y fue definida por la EURESTA (*European Research Project on Resistant Starch*) como la suma del almidón y productos de la degradación del almidón que no pueden ser absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos (Asp, 1992). El almidón resistente sigue su tránsito por el intestino delgado y llega al intestino grueso, donde es fermentado por las

PALABRAS CLAVE / Almidón / Almidón Resistente / Frijol / Índice Glucémico / Leguminosas /

Recibido: 19/05/2006. Modificado: 14/11/2006. Aceptado: 15/11/2006.

Apolonio Vargas-Torres. Ingeniero Bioquímico, Instituto Tecnológico de Acapulco, México. M.C. en Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Estudiante de doctorado en Polímeros, Instituto Tecnológico de Zacatepec, México.
Perla Osorio-Díaz. Licenciada en Nutrición y M.C. en Tec-

nología de Alimentos, IPN, México. Doctor en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), México. Profesora, IPN, México.
Edith Agama-Acevedo. Ingeniero Bioquímico, Instituto Tecnológico de Acapulco, México. M.C. en Desarrollo de Productos Bióticos, IPN, México. Es-

tudiante de doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, UAQ, México. Profesora, IPN, México.
Leticia Morales-Franco. Licenciada en Informática, Instituto Tecnológico de Zacatepec, México. Profesora, IPN, México.
Luis Arturo Bello-Pérez. Ingeniero Bioquímico, Instituto Tec-

nológico de Acapulco, México. M.C. en Bioingeniería y Doctor en Ciencias en Biotecnología de Plantas, CINVESTAV-IPN, México. Profesor, IPN, México. Dirección: Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, IPN. Km 8.5 Carretera Yautepec-Jojutla, Col. San Isidro, 62731 Yautepec, Morelos, México. e-mail: labellop@ipn.mx

Estudou-se a composição química e a digestibilidade do amido de quatro variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Não se encontraram diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$) no conteúdo de proteína e o conteúdo de lipídios foi baixo, mas sem diferenças apreciáveis. Estes feijões são boa fonte de minerais (3,67-5,15% cinzas). O valor de amido total (AT) menor foi para a variedade Flor de Mayo (34,70%) e o maior para Peruano (42,81%) e Mayocoba (40,24%). Os valores maiores de amido disponível (AD) se determinaram nas variedades Flor de Mayo (32,27%) e Peruano (31,60%),

e os menores nas variedades Mayocoba (22,87%) e Negro (21,7%). A variedade Flor de Mayo apresentou o menor valor (2,43%) de amido resistente (AR), e as variedades com o maior valor de AT (40,24-42,81%) também tiveram o valor mais alto de AR (5,41-6,4%). As variedades Flor de Mayo e Peruano mostraram as maiores porcentagens ($p \leq 0,05$) de hidrólise (34-37%), o que coincidiu com seus valores de AD. A predição do índice glicêmico (pIG) foi maior na variedade Peruano (68,69), e menor em Mayocoba (57,88) e Negro (58,40). Estes valores de pIG se consideram baixos.

bacterias de la flora normal del colon. Como producto de la fermentación se generan ácidos grasos de cadena corta (AGCC) con una alta proporción de butirato (Englyst y Cummings, 1987).

Los AGCC producto de la fermentación del AR, así como la velocidad y el nivel de digestión del almidón, afectan diversas funciones fisiológicas y tienen efectos benéficos en la salud, tales como la reducción de la respuesta glucémica e insulinémica al alimento, un efecto hipocolesterolémico y un efecto protector contra el cáncer colo-rectal (Cassidy *et al.*, 1994; Asp *et al.*, 1996).

La clasificación principal del AR ha sido propuesta por Englyst *et al.* (1992). Se basa en la naturaleza del almidón y el alimento que lo contiene. El AR1 corresponde al almidón físicamente inaccesible, atrapado en la matriz celular, tal como sucede en las leguminosas (Würsch *et al.*, 1986; Tovar *et al.*, 1992a). El AR2 son los gránulos nativos, que no han sido sometidos al proceso de cocción y por su naturaleza cristalina son menos susceptibles a la hidrólisis (Englyst y Cummings, 1987; Faisant *et al.*, 1995). El AR3 es el almidón retrogradado, el cual se forma en los alimentos que han sido cocinados y almacenados. Durante el enfriamiento la molécula de amilosa se reasocia formando estructuras semicristalinas resistentes a la hidrólisis enzimáticas (Englyst y Cummings, 1987). Las leguminosas contienen, además del almidón, altos niveles de fibra

dietética, lo cual da una alta resistencia a la pared celular evitando su ruptura durante su cocimiento. Esto, aunado a la presencia de ciertos factores antinutricionales, hace que el almidón de las leguminosas tenga una baja digestibilidad. Además, las leguminosas procesadas contienen cantidades significativas de AR1, pero además de AR2 y AR3, lo que las hace particularmente interesantes (Tovar *et al.*, 1992b; Velasco *et al.*, 1997; Bravo *et al.*, 1998). Como resultado, la velocidad de digestión del almidón y la liberación de glucosa al torrente sanguíneo es lenta después de ingerir leguminosas, lo cual causa bajas respuestas glucémicas e insulinémicas posprandiales, en comparación con las de cereales o papas (Jenkins *et al.*, 1982; Tovar *et al.*, 1992b).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la digestibilidad del almidón presente en diferentes variedades de frijol cocido.

Materiales y Métodos

Material biológico

Se utilizaron cuatro variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.): Flor de Mayo, Mayocoba, Negro y Peruano. Las semillas fueron molidas en un molino comercial y tamizadas en malla 50 U.S. (abertura de 300 μ m), para luego determinar su com-

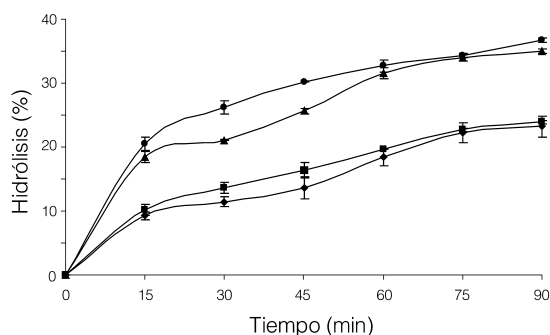


Figura 1. Hidrólisis *in vitro* del almidón de frijol. ●: Peruano, ▲: Flor de Mayo, ■: Negro, ◆: Mayocoba.

posición química.

Para los estudios de digestibilidad del almidón, los frijoles se cocinaron hasta una consistencia suave, evaluada con una prueba de compresión con los dedos como lo hacen las amas de casa en México. Luego las muestras cocidas se homogenizaron mecánicamente (Polytron PT 1200, Kinematica AG, Switzerland) para conseguir una homogeneidad de la muestra y favorecer el contacto con las enzimas utilizadas en las diferentes determinaciones.

Análisis proximal

El contenido de humedad se determinó utilizando el método 925.10 de la AOAC (AOAC, 1990). Cenizas, proteínas y grasa se cuantificaron de acuerdo con los métodos 08-01, 46-13 y 30-25 de la AACC (AACC, 2000).

Digestibilidad

La cantidad de almidón total se determinó siguiendo la metodología enzimática propuesta por Goñi *et al.* (1997), la cual

consiste en la hidrólisis total de la molécula, después de una dispersión en KOH. El almidón disponible fue determinado usando el método multienzimático de Holm *et al.* (1986) con α -amilasa termoestable (A3306; Sigma Chemical) y amiloglucosidasa (Roche). El almidón resistente fue obtenido mediante el método propuesto por Goñi *et al.* (1996), que

determina la cantidad de almidón indigerible (el cual comprende parte de AR1 más el AR2 y el AR3; Tovar, 2001). El contenido de almidón resistente retrogradado (AR3) se midió como remanentes de almidón en los residuos de fibra dietética, de acuerdo al método propuesto por Saura-Calixto *et al.* (1993). La velocidad de hidrólisis *in vitro* se determinó empleando α -amilasa pancreática (Holm *et al.*, 1985). Cada prueba se realizó con 500mg de almidón disponible. Para la predicción del índice glucémico se siguió la metodología reportada por Goñi *et al.* (1997), calculando el porcentaje de almidón hidrolizado a los 90min (H_{90}) y aplicando la ecuación $IG = 39,21 + 0,803H_{90}$ ($r = 0,91$; $p \leq 0,05$).

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y las medias se compararon mediante una prueba de comparación múltiple de Tukey (SPSS, V. 6.0, 1996), con un nivel de significancia de 0,05.

Resultados y Discusión

Composición química

El contenido de humedad en las muestras analizadas varió de 2,31 a 965% (Tabla I), siendo la variedad Flor de Mayo la que presentó el menor valor y la Mayocoba el mayor ($p \leq 0,05$). El contenido de humedad puede estar afectado por la variedad y el tiempo de almacenamiento. El contenido de proteína (22,16 a 24,20%) fue similar (Tabla I) para todas las variedades estudiadas y los valores son típicos del frijol común, el cual es considerado una buena fuente de este nutriente. Debido al alto contenido de proteínas en las leguminosas, éstas pueden afectar la digestibilidad del almidón. El contenido de lípidos en las semillas de frijol fue bajo (Tabla I), como es característico para la mayoría de las leguminosas (Hedley *et al.*, 2001), donde puede tener lugar la formación de complejos almidón-lípidos, los cuales inhiben la retrogradación del almidón, pero son menos susceptibles a la acción de las amilasas.

Digestibilidad del almidón

El contenido de almidón total (AT) de las semillas cocidas varió entre 34,70 y 42,81% (Tabla II), por lo que el frijol común es una buena fuente de este carbohidrato. La variedad Flor de Mayo presentó el menor valor de AT, y las variedades Negro y Mayocoba el mayor. Los valores determinados en este trabajo son similares a los de 39,3 a 39,9% reportados por Tovar y Melito (1996) en dos variedades de frijoles cocidos con tres diferentes métodos, y por Bravo *et al.*, (1999), de 34,9 y 39,9% en cinco especies diferentes de frijol.

Flor de Mayo (32,27%) y Peruano (31,60%) tuvieron los valores mayores de almidón disponible (AD) y Mayocoba (22,87%) y Negro (21,7%) los menores, pero no hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$; Tabla II). Dependiendo de los

requerimientos nutricionales y calóricos se puede elegir una variedad de frijol con mayor o menor cantidad de AD. Un valor similar (33,38%) a las variedades Flor de Mayo y Mayocoba fue reportado por García-Alonso *et al.* (1998) en frijoles cocinados. Sin embargo, el AD en frijoles negros hervidos fue de 27,8% (Velasco *et al.*, 1997) y entre 26,6 a 35,7% para cinco variedades de frijol cocido (Bravo *et al.*,

1998). La estructura molecular del almidón nativo, así como el arreglo molecular de la amilosa y amilopectina después del cocimiento de los frijoles, afectan la digestión del almidón (Biliaderis, 1991).

La variedad Flor de Mayo presentó el menor valor (2,43%) de almidón resistente (AR) y las variedades con el mayor valor de AT también tuvieron un AR más alto (5,41 y 6,4%; $p \leq 0,05$). Los valores bajos de AR se pueden deber a una reducción en las fracciones de almidón físicamente inaccesibles (AR1), la que se produce cuando los gránulos se someten a un tratamiento que daña o desintegra la microestructura de la semilla (Tovar *et al.*, 1991; Englyst *et al.*, 1992). Los valores mayores de AR en algunas de las variedades estudiadas son importantes por los posibles efectos benéficos a la salud asociados con el consumo y metabolismo de esta fracción de almidón indigerible (Champ *et al.*, 2003).

Los valores de almidón resistente retrogradado (ARR) en las muestras analizadas fueron menores al 50% de los valores de su correspondiente AR. Estos resultados se deben (Tovar, 2001) a que con el método de

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE FRIJOL

Muestra	Humedad*	Proteína**.	Lípidos**
Flor de Mayo	2,31 ±0,2 d	22,16 ±0,51 b	0,73 ±0,02 c
Mayocoba	9,65 ±0,07 a	23,41 ±0,7 a,b	1,98 ±0,29 a
Negro	6,86 ±0,85 c	24,20 ±0,19 a	1,26 ±0,31 b
Peruano	8,14 ±0,11 b	22,85 ±0,60 b	1,80 ±0,01 a

* Media de tres réplicas. ** Media de tres réplicas, base seca. *** $N \times 5,85$
Medias con diferente letra en una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

TABLA II
ALMIDÓN DISPONIBLE (AD), ALMIDÓN RESISTENTE TOTAL (AR) Y ALMIDÓN RESISTENTE RETRÓGRADADO (ARR) EN DIFERENTES VARIEDADES DE FRIJOL COCIDO (%)*

Muestra	AT	AD	AR	ARR
Flor de Mayo	34,70 ±1,3 d	32,27 ±0,7 a	2,43 ±0,3 d	1,82 ±0,2 d
Mayocoba	40,24 ±1,0 b	22,87 ±0,9 b	6,4 ±0,4 a	3,3 ±0,3 a
Negro	36,3 ±0,8 c	21,7 ±0,5 b	4,0 ±0,1 c	2,3 ±0,2 c
Peruano	42,81 ±1,2 a	31,60 ±0,4 a	5,41 ±0,1 b	2,65 ±0,1 b

* Los valores son las medias de tres replicas, en base seca.
Medias con diferente letra en una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

TABLA III
ÍNDICE DE HIDRÓLISIS Y PREDICCIÓN DEL ÍNDICE GLUCÉMICO DE LAS MUESTRAS DE FRIJOL*

Muestra	Predicción del índice glucémico
Flor de Mayo	64,54 ±0,63 b
Mayocoba	57,88 ±1,31 c
Negro	58,40 ±0,20 c
Peruano	68,69 ±0,46 a

* Utilizando la ecuación: $GI = 39,21 + 0,803 (H_{90})$; $r = 0,91$; $p \leq 0,05$ (Goñi *et al.*, 1997).

Goñi *et al.* (1996) se reporta la suma de las fracciones resistentes del almidón físicamente inaccesible (tipo 1) más el almidón no gelatinizado (tipo 2) y el almidón retrogradado (tipo 3). Además, todas las muestras estudiadas tuvieron cantidades significativas de AR1 y AR2, más el AR3. Estos resultados concuerdan con otros estudios realizados sobre la digestibilidad del almidón en leguminosas (Bravo *et al.*, 1998; García-Alonso *et al.*, 1998; Tovar *et al.*, 1990, 1991, 1992a). Después de cocinarse e enfriarse los frijoles se inicia la retrogradación del almidón, lo cual produce una menor accesibilidad de las amilasas y por tanto menor hidrólisis del polisacárido.

Las variedades Flor de Mayo y Peruano mostraron los mayores porcentajes de hidrólisis

in vitro (34-37%; $p \leq 0,05$), lo cual coincide con sus valores de AD. La variedad Mayocoba presentó los valores más bajos de hidrólisis, ya que a los 15min solo se hidrolizó 10% del almidón disponible y a los 90min el 24%. Las variedades Flor de Mayo y Peruano tuvieron una hidrólisis similar (37%) a los 90min. Estos resultados de velocidad de hidrólisis del almidón muestran la baja digestibilidad del almidón en leguminosas (Tovar *et al.*, 1992a). García-Alonso *et al.* (1998) reportaron 17% de hidrólisis a los 60min para frijoles cocidos y Bravo *et al.* (1998) reportaron 10 a 20% para diversas leguminosas autóctonas cocidas; cuando estas muestras se secaron la hidrólisis aumentó a 40 y 55% después de 5min y hasta 60 a 80% a los 90min. Este aumen-

to en las muestras secas puede ser explicado por la destrucción, durante la molienda previa al secado, de la estructura celular y los tejidos del cotiledón que contienen almidón, ya que la destrucción de la estructura de los tejidos y las células incrementa la velocidad de digestión del almidón en las leguminosas (Tovar *et al.*, 1991, 1992b; García-Alonso *et al.*, 1998).

Los valores del índice glucémico (IG), calculados con los resultados del porcentaje de hidrólisis a los 90min (Tabla III) mostraron que la variedad Peruano tuvo el mayor valor (68,69) y las variedades Mayocoba (57,88) y Negro (58,40) los menores. Los valores de IG para estas variedades son considerados bajos según la clasificación de Foster-Powell y Brand-Miller (1995), donde el aporte de glucosa al torrente sanguíneo después de consumido el alimento es bajo. Además, estos resultados confirman que los frijoles son una fuente de carbohidratos de lenta digestión. Los valores de IG obtenidos en este estudio fueron mayores que el de 50,6% determinado en frijol común por García-Alonso *et al.* (1998) utilizando la misma ecuación empírica, pero calculando el valor de IG sobre la base de almidón total, mientras que en el presente estudio se calculó sobre la base de almidón disponible.

Conclusiones

No se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de proteína en las variedades de frijol estudiadas. La variedad Flor de Mayo presentó el menor valor de AT ($p \leq 0,05$), lo cual coincidió con su bajo contenido de AD, mientras que las variedades Mayocoba y Negro tuvieron los valores mayores de AD. La variedad Flor de Mayo presentó el menor valor de AR, y las variedades con el mayor contenido de AT también tuvieron el más alto de AR. Los valores de ARR coincidieron con el contenido de AR y fueron un 50% de los valores de su

correspondiente AR ($p \leq 0,05$). Las variedades analizadas presentaron diferentes velocidades de hidrólisis, lo cual se reflejó en los valores calculados del IG; por ejemplo, la variedad Peruano tuvo el valor mayor y las Mayocoba y Negro los menores ($p \leq 0,05$).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de CGPI-IPN, EDI-IPN y COFAA-IPN.

REFERENCIAS

AACC (2000) Approved Methods of the American Association of Clinical Chemists. 10th ed. AACC International. St. Paul, MN, EEUU.

AOAC (1990) Official Methods of Analysis. 13th ed. American OWashington, DC, EEUU. 730 pp.

Asp NG (1992) Resistant starch. Proc. 2nd Plenary Meeting of EURESTA. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 (Suppl.2): SI.

Asp NG, Van Amelsvoort JMM, Hautvast JGAJ (1996) Nutritional implications of resistant starch. *Nutr. Res. Rev.* 9: 1-31.

Biliaderis CG (1991) The structure and interactions of starch with food constituents. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 69: 60-78.

Bravo L, Siddhuraju P, Saura-Calixto F (1998) Effect of various processing methods on the in vitro starch digestibility and resistant starch content of indian pulses. *J. Agr. Food Chem.* 46: 4667-4674.

Bravo L, Siddhuraju P, Saura-Calixto F (1999) Composition of underexploited indian pulses. Comparison with common legumes. *Food Chem.* 64: 185-192.

Cassidy A, Bingham SA, Cummings JH (1994) Starch intake and colorectal cancer risk: and international comparison. *Brit. J. Cancer.* 69: 937-942.

Champ M, Langkilde AM, Brouns F, Kettlitz B, Collet YLB (2003) Advances in dietary fiber characterization. 2. consumption, chemistry, physiology and measurement of resistant starch; implications for health and food labeling. *Nutr. Res. Rev.* 16: 143-161.

Englyst HN, Cummings JH (1987) Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man. *Am. J. Clin. Nutr.* 45: 423-431.

Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH (1992) Classification

and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 (Suppl. 2): S33-S50.

Faisant N, Buleon A, Colonna P, Molis C, Lartigue S, Galmiche JP, Champ M (1995) Digestion of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: structural features of resistant starch. *Br. J. Nutr.* 73:111-123.

Foster-Powell K, Brand-Miller J (1995) international tables of glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.* 62: 871S-893S.

García-Alonso A, Goñi I, Saura-Calixto F (1998) Resistant starch formation and potential glycemic index of raw and cooked legumes (lentils, chickpeas and beans). *Z Lebensm Unters Forsch A.* 206: 284-287.

Goñi I, García-Díaz L, Mañas E, Saura-Calixto F (1996) Analysis of resistant starch: A method for foods and food products. *Food Chem.* 56: 445-449.

Goñi I, García-Díaz L, Saura-Calixto F (1997) A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr. Res.* 17: 427-437.

Hedley CL, Cunningham I, Jones A (2001) Introduction. En Hedley CL (Ed.) *Carbohydrates in Grain Legume Seeds*. CABI. Oxford, RU. pp. 1548-1551.

Holm J, Björck I, Asp NG, Sjöberg LB, Lundquist I (1985) Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam-cooking and popping of wheat. *J. Cereal Sci.* 3: 193-200.

Holm J, Björck I, Drews A, Asp NG (1986) A rapid method for the analysis of starch. *Starch/Stärke* 38: 224-229.

Jenkins DJA, Thorne MJ, Camelon K, Jenkins AL, Rao AV, Taylor RH, Thompson LU, Kalmusky J, Reichert R, Francis T (1982) Effect of processing in digestibility and the blood glucose response: study of lentils. *Am. J. Clin. Nutr.* 36: 1093-1101.

Rehman Z, Salariya AM, Zafar SI (2001) Effect of processing on available carbohydrate content and starch digestibility of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.* 73: 351-355.

Reyes-Moreno C, Paredes-López O (1993) Hard-to-cook phenomenon in common beans - A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 33: 227-286.

Sathe SR, Rangnekar PD, Deshpande SS, Salunkhe DK (1982) Isolation and partial characterization of black gram (*Phaseolus mungo* L.) starch. *J. Food Sci.* 47: 1524-1538.

Saura-Calixto F, Goñi I, Bravo L, Mañas E (1993) Resistant starch in foods: Modified method

for dietary fiber residues. *J. Food Sci.* 58: 642-645.

Skrabanja V, Liljerberg HGM, Hedley CL, Kreft I, Björck IME (1999) Influence of genotype and processing on the in vitro rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas (*Pisum sativum* L.). *J. Agr. Food Chem.* 47: 2033-2039.

SPSS (1996) *SPSS para Windows. Programación y Análisis Estadístico*. Ferrán AM (Ed.). McGraw Hill. México. 608 pp.

Tovar J (2001) Métodos para la determinación de almidón resistente en los alimentos. En Lajolo FM, Saura-Calixto F, Wittig de Penna E, Menezes EW (Eds.) *Fibra Dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud. Obtención, Caracterización, Efecto Fisiológico y Aplicación en Alimentos*. Varela. Sao Paulo, Brasil. pp. 143-154.

Tovar J, Melito C (1996) Steam-cooking and dry heating produce resistant starch in legumes. *J. Agr. Food Chem.* 44: 2642-2645.

Tovar J, Björck IM, Asp NG (1990) Starch content and -amylolysis rate in precooked legume flours. *J. Agr. Food Chem.* 38: 1818-1823.

Tovar J, de Francisco A, Björck I, Asp NG (1991) Relationship between microstructure and in vitro digestibility of starch in precooked leguminous seed flours. *Food Struct.* 10: 19-26

Tovar J, Björck IM, Asp NG (1992a) Incomplete digestion of legume starches in rats: A study of precooked flours containing retrograded and physically inaccessible starch fractions. *J. Nutr.* 122: 1500-1507.

Tovar J, Granfeldt Y, Björck IM (1992b) Effect of processing on blood glucose and insulin responses to starch in legumes. *J. Agr. Food Chem.* 40: 1846-1851.

Vargas-Torres A, Osorio-Díaz P, Islas-Hernández J, Tovar J, Paredes-López O, Bello-Pérez LA (2004) Starch digestibility of five cooked black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *J. Food Compos. Anal.* 17: 605-612.

Velasco ZI, Rascón A, Tovar J (1997) Enzymic availability of starch in cooked black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and cowpeas (*Vigna* spp.). *J. Agr. Food Chem.* 45: 1548-1551.

Würsch P, Del Vedovo S, Koellreuter B (1986) Cell structure and starch nature as key determinants of the digestion rate of starch in legumes. *Am. J. Clin. Nutr.* 43: 25-29.