

Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas

Luis A. Chel Guerrero
Luis Corzo Ríos
David A. Betancur Ancona

Luis A. Chel Guerrero. Doctor con especialidad en alimentos, egresado de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Investigador nacional nivel I del SNI. Representante del grupo de investigación del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, con sede en Argentina.

Luis Corzo Ríos. Maestro en ciencias con especialidad en alimentos, por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional.

David A. Betancur Ancona. Doctor en ciencias con especialidad en alimentos, egresado de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Investigador nacional nivel 1 del SNI, con 14 publicaciones en revistas arbitradas y 10 artículos de divulgación.

ESTRUCTURA DE LAS PROTEÍNAS

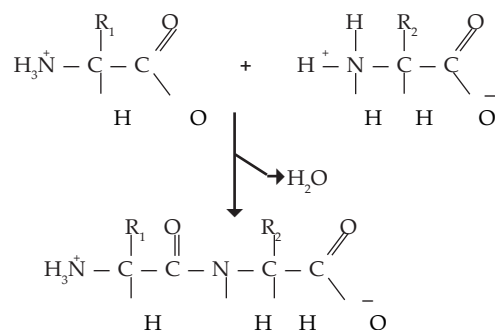
Las proteínas son moléculas muy complejas; presentan una estructura lógica y funcional específica para cada una de ellas; tienen como característica común que sus unidades estructurales son los aminoácidos. Los aminoácidos se encuentran unidos entre sí mediante uniones covalentes conocidos como enlaces peptídicos y, según el tamaño de las cadenas, pueden ser desde una simple unión de dos aminoácidos llamados di péptido, hasta grandes macromoléculas de proteína, pasando por las de tamaño mediano o polipéptidos. Los niveles de organización de las proteínas son: estructuras primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

- *La estructura primaria* está determinada por la secuencia de aminoácidos. Es decir, las proteínas

se diferencian por su número y composición de aminoácidos y por el orden de ellos en sus cadenas polipeptídicas (Figura 1).

- *La estructura secundaria* consiste esencialmente en la relación espacial de un aminoácido con respecto al que le sigue, a lo largo de la cadena polipeptídica. Hay varios tipos de estructura secundaria en las proteínas: en uno de ellos se puede adoptar (plegamiento) la forma de α hélice y en otro la conformación de lámina plegada. Las combinaciones de

Figura 1
Estructura primaria



estas estructuras secundarias dan origen a arreglos geométricos específicos que se presentan en las proteínas, los que son conocidos como motivos (Figura 2).

- Varios de estos motivos se combinan para dar origen al otro nivel de estructura: la *terciaria*, y es entonces conocido como dominio. Éstos son clasificados en tres categorías principales: una formada exclusivamente de α -hélices, otra de láminas β , otra de láminas β paralelas rodeadas de α hélices y finalmente las que no corresponden a pequeñas proteínas y que parecen versiones distorsionadas de las anteriores (Figura 3).

- La *estructura cuaternaria* se refiere al arreglo espacial de una proteína que contiene varias cadenas polipeptídicas y es la manera en que cada cadena polipeptídica en la proteína se arregla en el espacio con relación a las otras cadenas. Cada una de esas cadenas es conocida como una subunidad o protómero y el complejo cuaternario es entonces una proteína oligomérica o multimérica (Figura 4).

CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS

La complejidad y la diversidad son características predominantes de las proteínas, por lo tanto, resulta difícil establecer una clasificación

Figura 2
Estructura secundaria

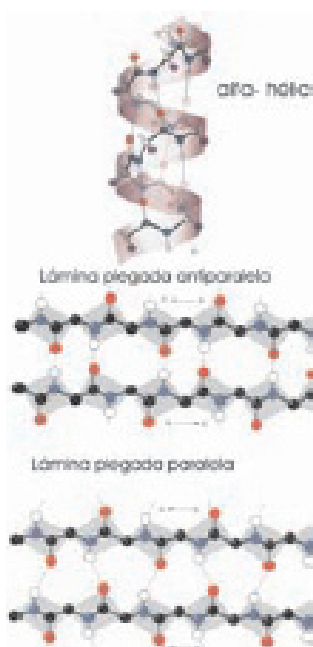
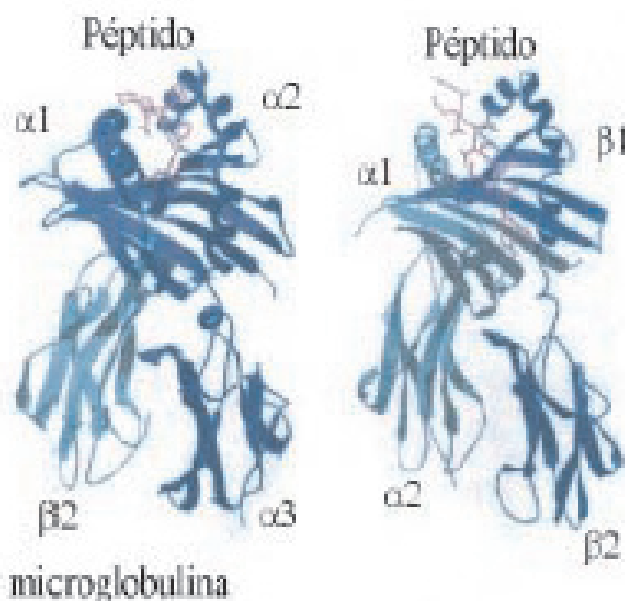


Figura 3
Estructura terciaria



rigurosa; sin embargo, los diversos métodos para clasificarlas se basan en cuatro criterios fundamentales: composición, forma, solubilidad y función biológica. La clasificación más utilizada para fines prácticos es de acuerdo a su solubilidad, siendo el método de Osborne, el más conocido y que reporta cuatro tipos de proteína (Ibáñez, 1991).

- a) Albúminas, solubles en agua y en soluciones salinas diluidas; precipitan en soluciones de sulfato de amonio a una concentración cercana a la saturación.
- b) Globulinas, generalmente insolubles en agua pero solubles en soluciones salinas diluidas, ejemplo de éstas es la miosina (Gueguen y Cerletti, 1994).
- c) Prolaminas, estas proteínas son

solubles en etanol 50-80%. Constituyen un grupo cuyo nombre se originó por el alto contenido de prolina y nitrógeno amídico proveniente de la glutamina, que es el aminoácido presente en altas cantidades y que juntos en algunos casos llegan a ser hasta el 50% del nitrógeno del grano (Segura-Nieto y Jiménez Flores, 1999).

- d) Glutelinas, que se caracterizan por ser solubles en medio ácido o alcalino, como es la oricenina del arroz. Las glutelinas cuyo representante más conocido son las gluteninas aisladas del trigo (Huang y Khan, 1997).

Las fracciones más importantes de las leguminosas son las albúminas y las globulinas, mientras que

Cuadro 1
Composición de proteínas de leguminosas según la clasificación de Osborne (g/100 g de proteína)

Grano de leguminosa	Fracciones			
	Albúminas	Globulinas	Prolaminas	Glutelinas
Frijol común ¹	27.6-36.6	35-39.3	0.1-0.2	0.4-0.2
Canavalia ²	14	66	14	0.8
Canavalia ³	12	79	6	0.3
Lupino ⁴	11.2	71.8	1.0	5.5
Chícharo ⁵	21	66	---	12
Soya ⁶	10	90	0	0

1 *Phaseolus vulgaris* (Gujska y Khan, 1991)

3 *Canavalia gladiata* (Samonte y col., 1989)

5 *Pisum. Sativum* (Fukushima, 1991)

2 *Canavalia ensiformis* (Samonte y col., 1989)

4 *Lupinus mutabilis* Sweet (Acuña y col., 1996)

6 *Glicine max* (Fukushima, 1991)

para el caso de los cereales son las prolaminas y glutelinas. Las albúminas incluyen algunas moléculas que poseen propiedades funcionales y muchas son enzimas que metabolizan las sustancias almacenadas en la semilla, como por ejemplo las glicosidasas y las proteasas, que tienen un papel importante en la degradación proteínica durante la germinación. Otras participan en la defensa de la planta, como son los inhibidores de tripsina y las lectinas (Gueguen y Cerletti, 1994).

La distribución de las proteínas de almacenamiento en las leguminosas, de acuerdo con su solubilidad, revela que las globulinas son el grupo principal ya que se les encuentra en la mayoría con un intervalo de 35 a 72% (Cuadro 1); llegando a contenidos tan altos como 90% para la soya (Utsumi, 1992) y pasando por el 71% en el lupino.

FUNCIONALIDAD DE LAS PROTEÍNAS EN LEGUMINOSAS

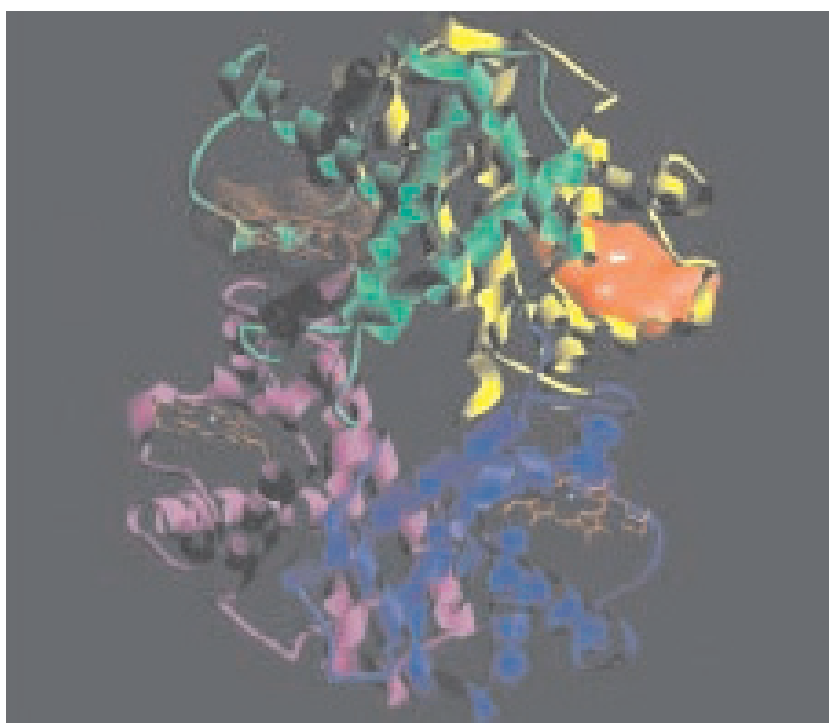
Las propiedades funcionales han sido definidas como cualquier propiedad fisicoquímica de las proteínas, que afecta el comportamiento y características de los alimentos en los cuales se encuentran o son agregadas y que contribuye a la calidad final del producto (Figura 4). Estas características pueden ser sensoriales, nutricias y bioquímicas. La aplicación práctica que una proteína puede tener depende

en gran medida de esa funcionalidad, ya que dependiendo de ella se pueden emplear en diversos tipos de productos y a la vez juega un papel importante en la aceptación por parte del consumidor.

Pueden agruparse en tres grupos (Fennema, 1996; Damodaran, 1997):

- 1.-Propiedades de hidratación, que dependen principalmente de la interacción proteína-agua y son aquellas como la sorción de agua, absorción y retención de agua, solubilidad, dispersabilidad y viscosidad.
- 2.-Propiedades que dependen de la interacción proteína-proteína y

Figura 4
Estructura cuaternaria



son aquellas como la gelificación, coagulación, elasticidad, cohesividad, dureza y adhesividad.

3.-Propiedades de superficie, que dependen de la interacción de la proteína con dos fases inmiscibles: agua / aceite, agua / aire que son la emulsificación, espumado, formación de película lipoproteínica, capaz de enlazar lípidos.

Los parámetros estructurales en relación con la funcionalidad de las proteínas son: a) los parámetros esféricos como son el tamaño y forma molecular, flexibilidad molecular y contenido de grupos SH/SS b) la hidrofobicidad, superficial y total, y el balance hidrofóbico/hidrofílico c) los parámetros eléctricos, como son la carga neta y superficial y d) los parámetros termodinámicos, tales como la entalpía de desnaturalización y la temperatura de desnaturalización.

1. La solubilidad de la proteína se define termodinámicamente como la concentración de proteína en el disolvente en estado de equilibrio en un sistema de una o dos fases, a una temperatura y presión dadas. Para que esto ocurra se requiere de un estado inicial sólido bien definido y un estado de solución final.

2. La emulsión es definida como la

dispersión o suspensión de dos líquidos inmiscibles, en la cual intervienen fuerzas de atracción, fuerzas de repulsión, fuerzas "estéricas" y fuerzas de agotamiento.

3. La espuma se define como un sistema coloidal bifásico donde las burbujas de gas (aire o CO₂) constituyen la fase dispersa gaseosa que está rodeada de una fase continua de líquido. En este esquema hay dos distintas fases, la efectividad de la encapsulación del gas (capacidad espumante) y la vida media de duración de la espuma (estabilidad de la espuma).

4. La capacidad de absorción de agua indica la aptitud a embeber agua en su estructura en forma espontánea, cuando se le pone en contacto con agua a través de una superficie que se mantiene húmeda o por inmersión.

5. La capacidad de retención de agua es la aptitud de un material hidratado a retener agua frente a la acción de una fuerza externa de gravedad centrífuga o de compresión y comprende la suma del agua enlazada, agua hidrodinámica y agua físicamente atrapada, siendo ésta la que contribuye en mayor proporción que las otras dos.

6. La viscosidad puede ser definida como la resistencia al flujo que una capa de un material presenta al deslizarse sobre otra, su comportamiento puede ser descrito según



la ley de Newton o no (newtoniano o no newtoniano) y generalmente las proteínas se comportan como fluidos newtonianos solamente en bajas concentraciones, siendo el caso más común el comportamiento pseudoplástico.

7. La gelificación es la formación de una red tridimensional que embebe al disolvente y lo inmoviliza, exhibiendo propiedades microestructurales y mecánicas muy diversas y esta red se forma a través de enlaces covalentes y no covalentes. El gel se considera como una fase intermedia entre un sólido y un líquido.

UTILIZACIÓN DE LAS PROTEÍNAS VEGETALES EN LA FORMULACIÓN DE ALIMENTOS

En la elaboración de alimentos procesados, las proteínas, como grupo o individualmente, son de gran importancia por sus propiedades físicas, químicas y funcionales, que proporcionan productos de buena calidad y facilitan su procesamiento. La importancia de las propiedades funcionales para la industria de alimentos puede ser medida por el número de ingredientes especializados requeridos, como los mencionados en el Cuadro 2.

Cuadro 2
Principales propiedades funcionales de las proteínas, sus fuentes y aplicaciones (Matthews, 1989; Hall, 1996)

Aplicaciones	Calidad deseada	Funcionalidad
Productos cárnicos	Sabor a carne, aroma, color, agua y aceite, textura	Sabor blando, enlazamiento de agua, emulsificación, gelificación o texturización
Mariscos	Color, sabor, apariencia (brillantez), textura	Blancura, sabor blando, solubilidad, gelificación
Imitación de queso	Color, sabor, enlazamiento de agua y grasa, fusión, elasticidad	Blancura, sabor blando, gelificación y emulsificación, fusión del gel y elasticidad
Cubierta de batidos	Espuma densa, blancura, estabilidad de la espuma	Capacidad espumante, estabilidad de la emulsión y de la espuma, solubilidad
Leche de soya ultrapasteurizada	Sabor, estabilidad de la emulsión, solubilidad	Capacidad emulsificante, sabor blando, estabilidad de la emulsión, solubilidad
Bebidas nutritivas para niños y adultos	Sabor, color, estabilidad de la emulsión y de la suspensión, habilidad para incorporar minerales	Sabor suave, blancura, solubilidad, estabilidad de la emulsión
Productos de panadería	Retención de humedad, volumen y textura de la hogaza	Enlazamiento de agua, formación de la interfase, gelificación
Tofu instantáneo	Textura, sabor	Gelificación

En gran medida, las semillas de las leguminosas comestibles son nutricionalmente importantes, siendo reconocidas como la principal fuente de proteínas de bajo costo en la dieta del hombre, ya que su contenido oscila de 20 a 40%, el cual es superior al de otros vegetales como los cereales que tienen entre 7 y 14%. Son también una importante fuente de proteínas para aves de corral y otros animales monogástricos, que proporcionan la carne para el consumo humano. Asimismo, suministran calorías cuantificadas hasta en un 85% de los requerimientos mundiales, además de las vitaminas y mi-

nerales, importantes en la nutrición humana (Lumen, 1990).

De las más de 18,000 especies de leguminosas que existen, sólo unas 20 son las que se incorporan a la ingesta humana en forma importante y una docena de manera generalizada. Otras son poco comunes en la dieta, debido principalmente a la presencia de componentes antinutricios, aunque son utilizadas por ciertos segmentos de la población (Figura 5).

Algunos avances se han logrado para incrementar la utilización extensiva de leguminosas no tradicionales, a través de la preparación de harinas, concentrados y aislados

Figura 5
Diversas variedades de leguminosas





proteínicos. Como ejemplo se pueden citar los aislados proteínicos de lupino (*Lupinus albus*) que se incorporan en la leche que se distribuye a través del Programa Nacional de Desayunos Escolares en Chile; el de haba (*Vicia faba*) que se produce a nivel piloto en Inglaterra y el de chícharo (*Pisum sativum*) en Canadá, con explotación a nivel comercial. Actualmente se pretende incrementar el uso de estas fuentes vegetales promisorias como ingredientes funcionales en alimentos para mejorar la calidad nutricia de los productos y por razones económicas.

Entre los productos de leguminosas que se utilizan actualmente en la industria de los alimentos se encuentran las harinas y sémolas, los concentrados de proteína y los aislados proteínicos. Los concentrados de proteína contienen arriba del 65% de proteína, pero menos del 90%. Los concentrados son generalmente libres de sabor, olor y tienen propiedades funcionales tales como absorción de agua y grasa, los cuales los hacen apropiados para el uso en productos alimenticios, como pan, cereales para el desayuno, productos de la carne (salchichas, carne molida y otros) y en alimentos infantiles. Debido a la calidad que presentan, pueden incluirse en la alimentación humana y compararse con la proteína de la carne, leche y huevo por contener todos los aminoácidos esenciales.

En la actualidad los productos a base proteína vegetal que se utilizan con más frecuencia son los elaborados con soya. Éstos se usan cada vez más en diferentes sistemas a base de carne procesada, siendo el área más común de uso doméstico actual, las carnes emulsificadas (salchichas) y las carnes molidas (carne molida de res para hamburguesa), alimentos de origen marino, alimentos para mascotas, productos de tipo lácteo, productos de panificación, pastas para sopa, etcétera. Como fuente alternativa a la soya, a nivel experimental se han evaluado en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán las propiedades funcionales de harinas y concentrados provenientes de leguminosas subutilizadas, como son la *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata*. Los hallazgos más relevantes se encuentran en el Cuadro 3.

Se puede observar en el Cuadro 3 que las propiedades funcionales son dependientes tanto de la cantidad como de la calidad de la proteína, por lo que en función de su comportamiento pueden ser incorporados como ingredientes en diferentes productos alimenticios. En este sentido, en nuestra Facultad se han realizado trabajos adicionando concentrado proteínico de *P. lunatus* en diversos productos alimenticios. Se enriquecieron botanas fritas ("churritos")

adicionándoles de un 5 a un 10% de concentrado proteínico. Se obtuvo un contenido de proteína de 15% para el producto adicionado con 10% de concentrado, así como un valor de digestibilidad de la proteína de 72% para productos con 5 y 10% de concentrado. Cabe señalar que no se vieron afectadas las características sensoriales del producto, encontrando una aceptación favorable por los jueces en las pruebas sensoriales. También se enriquecieron tortillas y salchichas tipo frankfurt, en niveles de 3.5, 7.5 y 15% en peso de la formulación respectiva, sin demeritar sus características de textura y de aceptación por parte del consumidor, aunado al incremento

del valor nutritivo en función de la cantidad de proteína incorporada. El nivel óptimo de incorporación de concentrado proteínico a tortillas de maíz resultó ser de 7.5%, con un 23% de proteína en el producto, lo cual representa un impacto muy grande en la calidad nutritiva del mismo. El nivel óptimo de incorporación de concentrado proteínico en salchichas fue de 3.5%, presentando valores de proteína de 46%, lo cual influye de manera positiva en el producto, mejorando la calidad fisicoquímica y nutricia del mismo.

CONCLUSIÓN

En la actualidad las leguminosas son uno de los insumos nutrimentales

Cuadro 3
Valor de algunas propiedades funcionales de harinas y concentrados de leguminosas locales comparadas con la soya

Propiedad Funcional	Leguminosa							
	Canavalia (<i>Canavalia ensiformis</i>)		Frijol terciopelo (<i>Mucuna pruriens</i>)	Frijol ib (<i>Phaseolus lunatus</i>)		Frijol x'pelon (<i>Vigna unguiculata</i>)	Soya ^{1,2} (<i>Glycine max</i>)	
	H	C	AC	H	C	C	H	A
Solubilidad (%) a pH 7	60.8	28.5	30	15	37	5	NR	85
Absorción de agua (g/g muestra)	3.8	2.5	2.1	2.7	3.5	2.5	1.8	4.4
Absorción de aceite (g/g muestra)	3.2	2.7	3.13	1.8	4.5	2.3	0.6	1.5
Capacidad espumante (%) a pH 7	30	41	55	21	57	60	NR	48
Capacidad emulsificante (%) a pH 7	50	52	50	48	50	55	NR	NR
Viscosidad (cP) a pH 7	7.3	3.3	NR	3	11.5	NR	NR	65

H: harina; C: concentrado; A: aislado; NR: no reportado

1 Idouraine y col. (1991)

2 Moguel y Chel (1990)



talmente importantes usados como aditivos alimenticios y como fuente de proteínas en la dieta del hombre, sobre todo en aquellos que no pueden comprar productos de origen animal (carne) por su elevado costo. Las proteínas de las leguminosas, cuando son adicionadas a los alimentos, les confieren propiedades químicas y funcionales que mejoran sus características sensoriales como sabor, olor, textura, palatabilidad. Una alternativa que pudiera resultar eficaz para mejorar la nutrición de la población mexicana, particularmente del medio rural, sería la adición de harinas, concentrado y/o aislados proteínicos obtenidos de leguminosas a sistemas alimenticios (tortillas, productos cárnicos, botanas, etcétera). Resultados de investigaciones han demostrado su factibilidad tecnológica, teniendo además un impacto nutritivo muy favorable, sin demeritar las características organolépticas y de aceptación por parte del consumidor de los productos modificados.

REFERENCIAS

- Acuña O, Castillo P, Orbea M. y Guerrero M. 1996. Fraccionamiento de proteínas de Lupino por solubilidad y determinación de pesos moleculares (*Lupinus mutabilis* Sweet). Simposio Iberoamericano sobre Proteínas para Alimentos. CYTED-INIA, Buenos Aires, Argentina.
- Branden C. and Tose J. 1991. *Introduction to Protein Structure*. Garland Publishing, Inc. New York and London. pp. 3-77.
- Damodaran S. 1997. Food Proteins: An Overview. In: *Food Proteins and Their Applications*. Ed. Marcel Dekker Inc. USA. pp. 1-30.
- Fennema OR. 1996. *Food Chemistry*. Ed. Marcel Dekker Inc. ed. 321-429.
- Franks. 1988. *Characterization of Proteins*. Edited by Felix Franks. Ed. Human Press. USA. pp 456-466.
- Fukushima D. 1991. Structures of plant storage proteins and their functions. *Food Reviews International*, 7(3): 356-381.
- Guéguen J and Cerletti P. 1994. Proteins of some legumes seeds: Soybean, pea, faba-bean and lupin. In: *New and Developing Sources of Food Proteins*. Hudson, F. (Ed). Chapman and Hall USA. Chap. 6.
- Hall GM. 1996. Methods of testing protein functionality. *Blackie Academic & Professional*. London. pp 1-185.
- Huang YD and Khan K. 1997. Characterization and quantification of native glutenine aggregates by multistacking sodium dodecyl sulfate polyacrylamide Gel electrophoresis (SDS-PAGE) Procedures. *Cereal Chem.* 74 (3): 229-234.
- Ibañez CAM. 1991. Aislamiento y caracterización parcial de las fracciones proteínicas de avena cubierta var. Páramo y avena desnuda var. Dorada. Tesis. *ENCB-IPN*.
- Idouraine A, Yensen SB and Weber CW. 1991. Tepary bean flour albumin and globulin fractions. Functional properties compared with soy protein isolate. *J. Food Sci.* 56(5):1316-1318.
- Lumen BO. 1990. Molecular approaches to improving the nutritional and functional properties of plants seeds as food sources: Developments and Comments. *J. Agric. Food Chem.* 38 (9) 1779-1785.
- Mathews KC and Van Holde EK. 1990. *The Benjamin/Cummings*, Publishing Company, Inc. USA. pp. 156-161.
- Samonte JL, Laurena AC and Mendoza EMT. 1992. *Isolation, fractionation and characterization of seed proteins from sword bean (Canavalia gladiata) and jack bean (Canavalia ensiformis)*. Record 56 A 170 - *Agris* 1991 - 1992.
- Segura-Nieto M. and Jiménez-Flores R. 1999. Genetic modifications of plant seed storage proteins for food production. In: *Molecular Biotechnology for Plant Food Production*. Technomic Publishing Co. Inc. USA. pp. 411-474.
- Shewry PR and Mifflin BJ. 1985. *Seed storage proteins of economically important*. *Cereals Advances in Cereal Science and Technology*. Vol. III. Ed. Pomeranz. USA.