

Referencia: Elías, L. G. y R. Bressani. "Procesamiento, almacenamiento y valor nutricional de los alimentos relacionados con la vida de anaquel".

Anais do IV Seminario Latino Americano de Ciencia y Tecnología de Alimentos. p. 320-332. Julio 1983.

PROCESAMIENTO, ALMACENAMIENTO Y VALOR NUTRICIONAL DE LOS ALIMENTOS RELACIONADOS CON LA VIDA DE ANAQUEL

Publicación INCAP F-1119

Luis G. Elías*
R. Bressani**

El almacenamiento y procesamiento de alimentos son tecnologías que el hombre ha usado desde épocas remotas como un pre-requisito para asegurar la disponibilidad de los alimentos y en algunos casos como una etapa previa necesaria antes de consumirlos, por una variedad de razones, como lo son los aspectos de estabilidad, mejoramiento de las características organolépticas, disminución de posibilidades de intoxicación y aún para introducir funcionalidad. Estas etapas de almacenamiento y procesamiento para los fines anteriormente indicados puede afectar en diferentes grados el valor nutritivo de los alimentos. Esto depende no solo de las condiciones usadas en dichas etapas, sino también de la secuencia que es aplicada previo a que los alimentos lleguen al consumidor. Aunque existen varias posibilidades, el Cuadro 1 muestra las tres situaciones más probables dependiendo del tipo de industria y de alimento. Es fácil visualizar la interrelación que puede existir entre estas diferentes alternativas y la estabilidad físico-química y nutricional de los alimentos. Es también reconocido que un almacenamiento inadecuado y un procesamiento inadecuado o un tratamiento térmico excesivo afecta el valor nutritivo de los alimentos, siendo que algunos nutrientes como las vitaminas son más susceptibles que los minerales, estando los aminoácidos entre estos dos grupos de nutrientes con respecto a su estabilidad. Por otro lado condiciones adecuadas de almacenamiento y condiciones de procesamiento bien controladas tienen un efecto positivo en retener el contenido de nutrientes originales del alimento, y en algunos casos incrementando la disponibilidad de nutrientes específicos y mejorando la apariencia global del producto. En esta presentación en lugar de discutir exclusivamente los efectos convencionales de almacenamiento y procesamiento sobre el valor nutritivo de los alimentos, que son ya bastante conocidos y documentados, se prestará mayor atención a aquellas condiciones de almacenamiento y procesamiento comúnmente usadas en la preparación de alimentos a base de leguminosas de grano, ya que éstas representan una importante fuente de nutrientes en la dieta consumida por poblaciones de la América Latina. Además las leguminosas presentan una serie de problemas, desde la producción al consumo, los cuales serán usados para indicar los efectos de almacenamiento y procesamiento sobre el valor nutritivo.

Las leguminosas de grano y en particular el frijol común (*Phaseolus vulgaris*) son cosechadas durante la estación lluviosa, siendo necesario un proceso de secamiento previo a su almacenamiento. La eliminación del exceso de humedad usando la luz solar si no es controlado adecuadamente puede iniciar un proceso de endurecimiento del frijol. Este proceso puede acentuarse durante el almacenamiento si la temperatura y la humedad relativa son relativamente altas. En ciertas regiones del mundo los frijoles son molidos y en otras el grano entero es procesado térmicamente previo a su consumo, con el propósito de eliminar sustancias antifisiológicas y mejorar el valor nutritivo. Otros procesos como la germinación y la fermentación son también usadas. Los productos procesados si no son adecuadamente almacenados, pueden sufrir una pérdida significativa de su valor nutricional. Esta presentación usará entonces los alimentos a base de las leguminosas de grano, e indicará como su valor nutricional es afectado durante el almacenamiento y el procesamiento. Asimismo, se indicará también algunas áreas de investigación que deben llevarse a cabo con el propósito de aumentar la disponibilidad y el valor nutritivo de un alimento de gran importancia alimenticia con los países en vía de desarrollo.

Tratamiento Postcosecha

Almacenamiento

Procesamiento para almacenar como grano.

Después de la cosecha el frijol común por lo general contiene cantidades relativamente altas de humedad, que debe ser removida antes del almacenamiento. Es una práctica común llevada a cabo por los pequeños agricultores en los países en desarrollo exponer el grano a la radiación solar. El tiempo de exposición debe ser más o menos controlado, si

* Científico de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá - INCAP

** Jefe de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá - INCAP

no, como han indicado los agricultores, el frijol se endurece. Esto ha sido recientemente confirmado experimentalmente de acuerdo a los resultados que se muestran en el siguiente Cuadro (Cuadro N° 1) (García y Bressani, 1982). A medida que el tiempo de exposición aumenta, se observa, como era de esperarse, una disminución en el contenido de humedad del grano, pero al mismo tiempo se obtuvo una disminución en la capacidad de absorción de agua y un aumento en el tiempo de cocción que en este Cuadro se expresa como calidad de cocción. Se observó también otros cambios físicos y químicos cuyo significado no es todavía claro y bien comprendido, pero que tiene implicaciones importantes para su aceptabilidad por parte del consumidor. Probablemente estos cambios tienen un efecto en el proceso de endurecimiento del frijol durante el almacenamiento (Sefa-Dedeh y col., 1979, Burr y Kon, 1966; Molina y col., 1976; Elías, 1981).

CUADRO 1. Características físicas y químicas del frijol recién cosechado expuesto a radiación solar antes de ser almacenado.

Radiación solar cal	Humedad %	Absorción de agua %	Calidad de cocción*	Sólidos en caldo de cocción g	Pectinas solubles %
0	15.2	33.4	20.0	3.98	5.77
91	13.7	30.4	18.0	3.60	5.46
390	12.0	20.4	8.0	2.00	4.69
1416	10.7	7.4	4.0	1.78	4.43

* Granos quebrados.

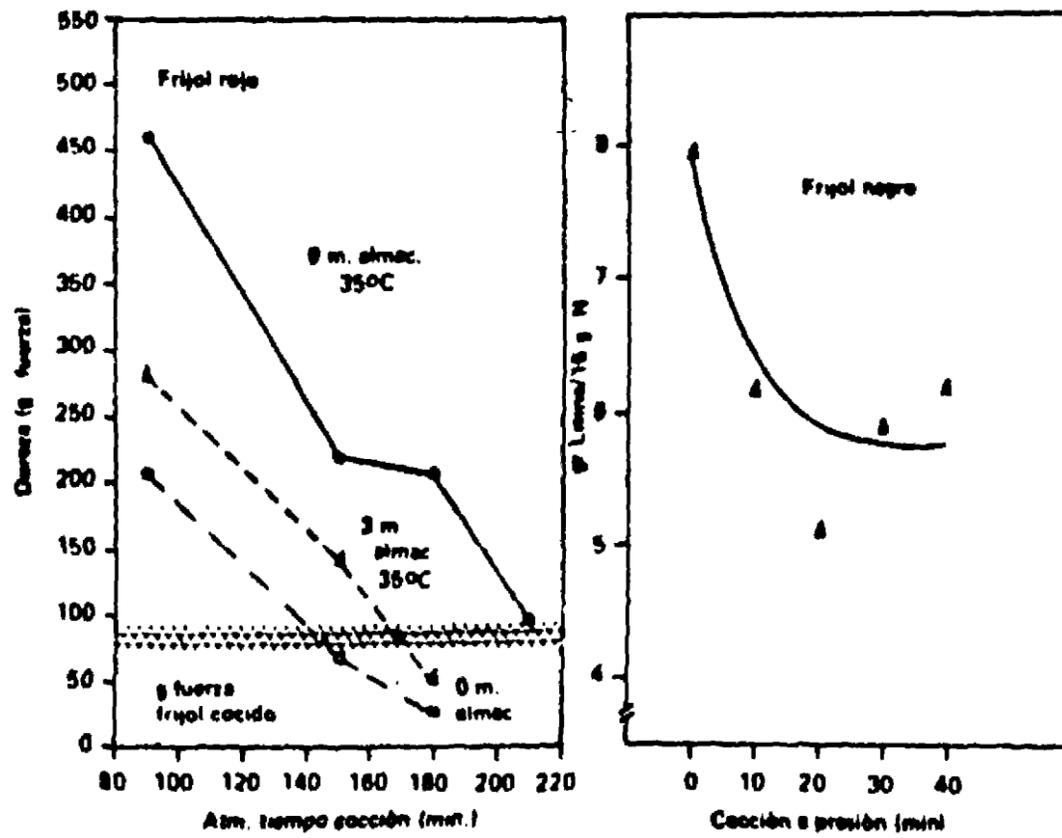
García & Bressani, 1982

Incap 82-581

El fenómeno de endurecimiento.

El almacenamiento puede tener un efecto directo o indirecto en el valor nutritivo de los alimentos y las dietas. Condiciones inadecuadas de almacenamiento de alimentos que contienen niveles relativamente altos de humedad, y condiciones ambientales de alta temperatura y humedad relativa resultan en una disminución de la calidad, debido en algunos casos a reacciones del tipo de Maillard. Estas condiciones favorecen también el crecimiento de hongos, los cuales pueden producir compuestos tóxicos para los animales que lo consumen. Pobres condiciones de almacenamiento pueden también afectar el valor nutritivo, favoreciendo la infestación con insectos, lo cual también resulta en pérdidas de la materia seca. Finalmente, el uso inapropiado de compuestos químicos para proteger los granos pueden también disminuir el valor nutritivo del alimento. Varios ejemplos se mostrarán para situaciones que generalmente prevalecen en los países tropicales en vía de desarrollo. Uno de ellos se refiere al endurecimiento del frijol durante el almacenamiento inadecuado. En el ejemplo que se muestra en la siguiente Figura (Figura 1) el frijol común fue almacenado por 0, 3 y 6 meses a 35°C y 85% de humedad relativa (Bressani, 1982). Al final del período de almacenamiento las muestras fueron cocinadas bajo condiciones estandarizadas a presión atmosférica, y la dureza se midió usando el texturómetro Instron. Una dureza estándar para cocción fue seleccionada, siendo ésta de un gramo fuerza de 90 con base a las prácticas normales de cocción casera en Guatemala. Como se puede apreciar en esta gráfica, la muestra inicial o sea con 0 meses de almacenaje, tomó 150 minutos, mientras que aquella almacenada por 6 meses aun a los 210 minutos todavía no estaba cocida. Esta condición conocida como endurecimiento del frijol tiene implicaciones económicas, no solo porque el alimento ya no es aceptado por el consumidor, sino también porque aun cuando se logre cocerlos el aumento en el costo energético es muy alto. Además, el tratamiento térmico excesivo que normalmente se usa para poder suavizar el grano también disminuye la calidad proteínica como se puede observar en la siguiente Figura (Figura 2) para el frijol común.

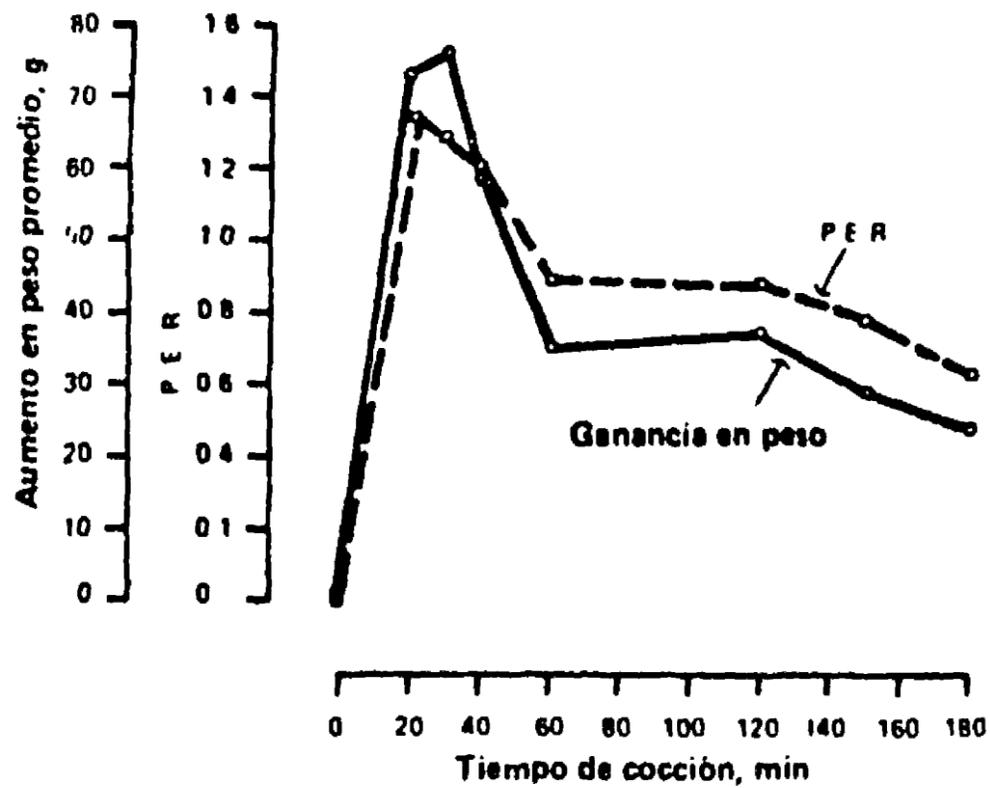
La pérdida en la utilización de la proteína (PER) y en la ganancia en peso es el resultado de una menor disponibilidad de la proteína así como de una pérdida del aminoácido lisina, el cual se puede inactivar a través de la bien conocida reacción de Maillard, hecho éste demostrado por diferentes investigadores (Bressani y col., 1963, Almas y Bender, 1980). Una interacción entre el almacenamiento y procesamiento puede también afectar el valor nutricional de las leguminosas. En algunas circunstancias se necesita un tiempo sumamente largo de cocción para obtener el máximo valor alimenticio posible de los frijoles endurecidos. El siguiente Cuadro N° 2 muestra que hasta después de 240 minutos de cocción la digestibilidad del frijol endurecido fue significativamente más baja al compararla con la del frijol recién cosechado como se ilustra en la parte inferior de este mismo Cuadro (Elías y Bressani, 1981). Los resultados



Bressani, 1961

Incap 82-621

GRAFICA 1. Factores nutricionales limitantes del frijol común. A. Factores físicos: dureza.



Bressani, Elias & Valente 1963

Incap 82-629

GRAFICA 2. Efecto del tiempo de cocción excesivo sobre la calidad proteínica del frijol.

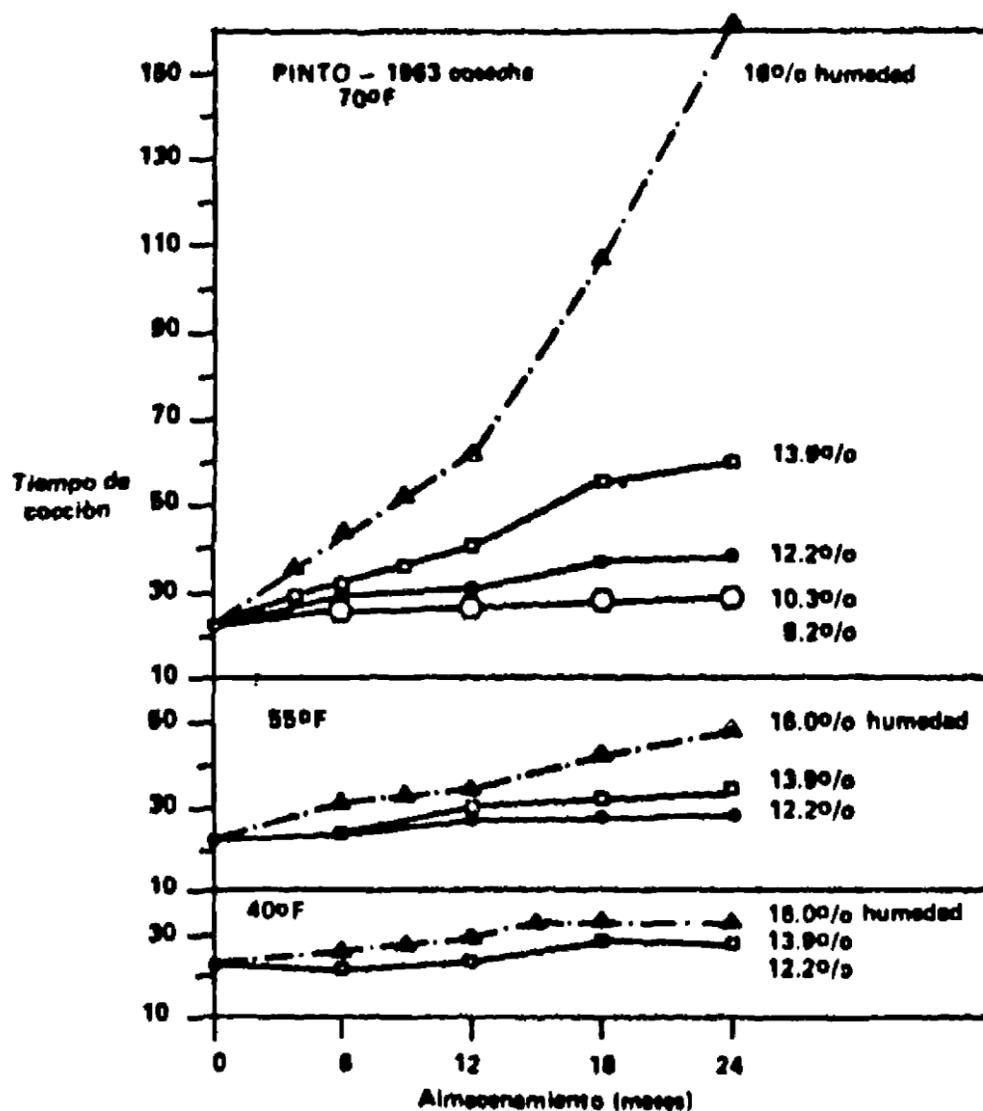
obtenidos hasta la fecha con respecto al endurecimiento del frijol, han indicado que los principales factores involucrados, como se muestra en la siguiente Grafica N° 3, son el tiempo y la temperatura de almacenaje, la humedad relativa del ambiente y el contenido de humedad del grano. Se puede observar que altas humedades en el grano favorecen el endurecimiento a medida que aumenta la temperatura. El mecanismo de endurecimiento del frijol en condiciones inadecuadas de almacenamiento no está todavía esclarecido. La evidencia disponible sugiere un aumento en la proteína ligada que probablemente se lleva a cabo en la cáscara de la semilla y en la capa aleurónica, sin embargo, los cotiledones también pierden su capacidad de absorción de agua debido a cambios en las sustancias pécticas y en los iones de calcio y muy frecuentemente desarrollan un color gris, sugestivo de reacciones entre la proteína y los carbohidratos (Varriano-Marston y Omana, 1979; Sefa-Dedeh y col., 1978; Elías, 1981).

CUADRO 2. Efecto del almacenamiento y procesamiento en los valores de frijol endurecido.

Tiempo de cocción min	Digestibilidad aparente
60	48.2
120	55.7
180	58.3
240	57.3
60*	69.3

* Frijol recién cosechado.

Incap 82-579



Incap 82-579

GRAFICA 3. Efecto de la humedad y almacenamiento en el tiempo de cocción del frijol común.

Infestación por insectos.

Estudios llevados a cabo en la India (Parpia, 1972) han indicado, como se muestra en el siguiente Cuadro N° 3 que algunas leguminosas pierden hasta un 18% de su calidad proteínica debido a la infestación por insectos. Esta pérdida puede ser debida a contaminación con ácido úrico, un productometabólico de los insectos, o debido a un aumento en la acidez de la grasa y a contaminación microbiana, y en ciertos casos a pérdidas de las fracciones del grano. La resistencia al ataque de insectos ha sido reportada en el caso del frijol común y el haba (Pabón y coli, 1976; Tahhan y Hariri, 1981). Es posible entonces, concluir que la resistencia natural a la infestación con insectos existe, por lo tanto se debería tratar de identificar la naturaleza de esta resistencia, disminuyendo así los problemas de almacenamiento, reduciendo los tratamientos químicos para el control de los insectos, manteniendo el valor nutritivo y asegurando una mayor eficiencia de procesamiento.

CUADRO 3. Calidad proteínica del garbanzo y el gandul infestados por insectos.

Leguminosa	PER	% disminución
Garbanzo (dhal) – control	2.21	–
Garbanzo (dhal) – Infestado	1.83	17.2
Gandul – control	2.04	–
Gandul – Infestado	1.66	18.6

Incap 82-578

Procesamiento

Molienda

La mayoría de los alimentos básicos y otros de origen animal y vegetal son procesados para su consumo. En ciertas regiones del mundo las leguminosas son procesadas para remover la cáscara antes del tratamiento térmico. Para estos propósitos se aplican métodos húmedos y secos (Siegel y Fawcet, 1976). Ambos procesos tienen ventajas y desventajas. El método húmedo es usualmente más largo y aunque produce buenos rendimientos, los cotiledones se vuelven duros y requieren un mayor tiempo de cocción. El proceso en seco de descascaramiento tiene la desventaja de producir altas pérdidas durante la molienda debido al rompimiento de los cotiledones y a la pulverización. Además si el grano está infestado con insectos el rendimiento disminuye durante el proceso de liberación de la cáscara como se puede observar en el siguiente Cuadro N° 4 (Parpia, 1972). Los valores de rendimiento disminuyeron a un 82% para los granos con un 2% de infestación y solo se obtuvo un rendimiento de 65% para los granos con un 15% de infestación. Técnicas de descascaramiento han sido desarrolladas con el propósito de maximizar el rendimiento, y los datos obtenidos han sugerido que la estructura genética de los cultivares juegan un papel importante en determinar el grado de rendimiento obtenido.

CUADRO 4. Efecto de la infestación de insectos en el rendimiento de dhal de garbanzo.

	% grano dañado	% de dhal obtenido
Garbanzo – control	2	82
Garbanzo - infestado	15	65

Parpia, 1972

Incap 82-586

Cocción

La tostación es una técnica de procesamiento muy interesante ya que tiene la característica de desarrollar sabores y olores agradables en el alimento sometido a este proceso.

Un ejemplo de la aplicación del proceso de tostación a las leguminosas se muestra en el Cuadro N° 5 en el cual se compara con el método tradicional de cocción en autoclave (Yadav y Liener, 1978). En este caso la tostación se llevó a cabo en un intercambiador de calor de cama fluida, operando a una temperatura de 190-200°C por 20 a 30 segundos. Como se puede apreciar, basado en los parámetros medidos el proceso de tostación dió un producto igual o de mejor calidad proteínica, al comparar con el proceso de cocción en húmedo bajo presión. Por lo consiguiente si las condiciones de procesamiento son bien controladas no hay el peligro de reducir el potencial nutricional del alimento en cuestión. El tratamiento térmico también puede ser de mucha utilidad como una manera de preservar la calidad de cocción de las leguminosas durante el almacenamiento. En un estudio el frijol negro entero fue tratado con calor por 2, 5 y 10 minutos a 121°C y por 10, 20 y 30 minutos bajo vapor (98°C). Los materiales así tratados fueron entonces almacenados a 25°C y con una humedad relativa de 70% y las muestras fueron evaluadas a los 3, 6 y 9 meses por su tiempo de cocción (Molina y col., 1975, Molina y col., 1978). La dureza fue medida usando una prueba de punción en las muestras remojadas y cocidas. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente Gráfica N° 4 y muestran que los frijoles tratados a 121°C retuvieron bastante bien sus características de cocción comparadas con la muestra control sin tratamiento, la cual necesitó un mayor tiempo de cocción a medida que el tiempo de almacenamiento fue mayor.

CUADRO 5. La calidad proteínica de frijol autoclaveado y tostado em seco.

Proceso	Inhibidor de trips.	Hemaglutinación unidades/g x 10 ³	P.D. %	PER
Autoclavado				
min				
0	16.5	35.5	44.3	—
15	2.5	0.2	68.0	1.69
30	0	0	68.4	1.46
60	0	0	62.8	1.15
Secado en seco 20-25 seg.				
196 – 200°C	4.1	0.2	69.2	1.92

Adaptado de Yadav y Liener, 1978.

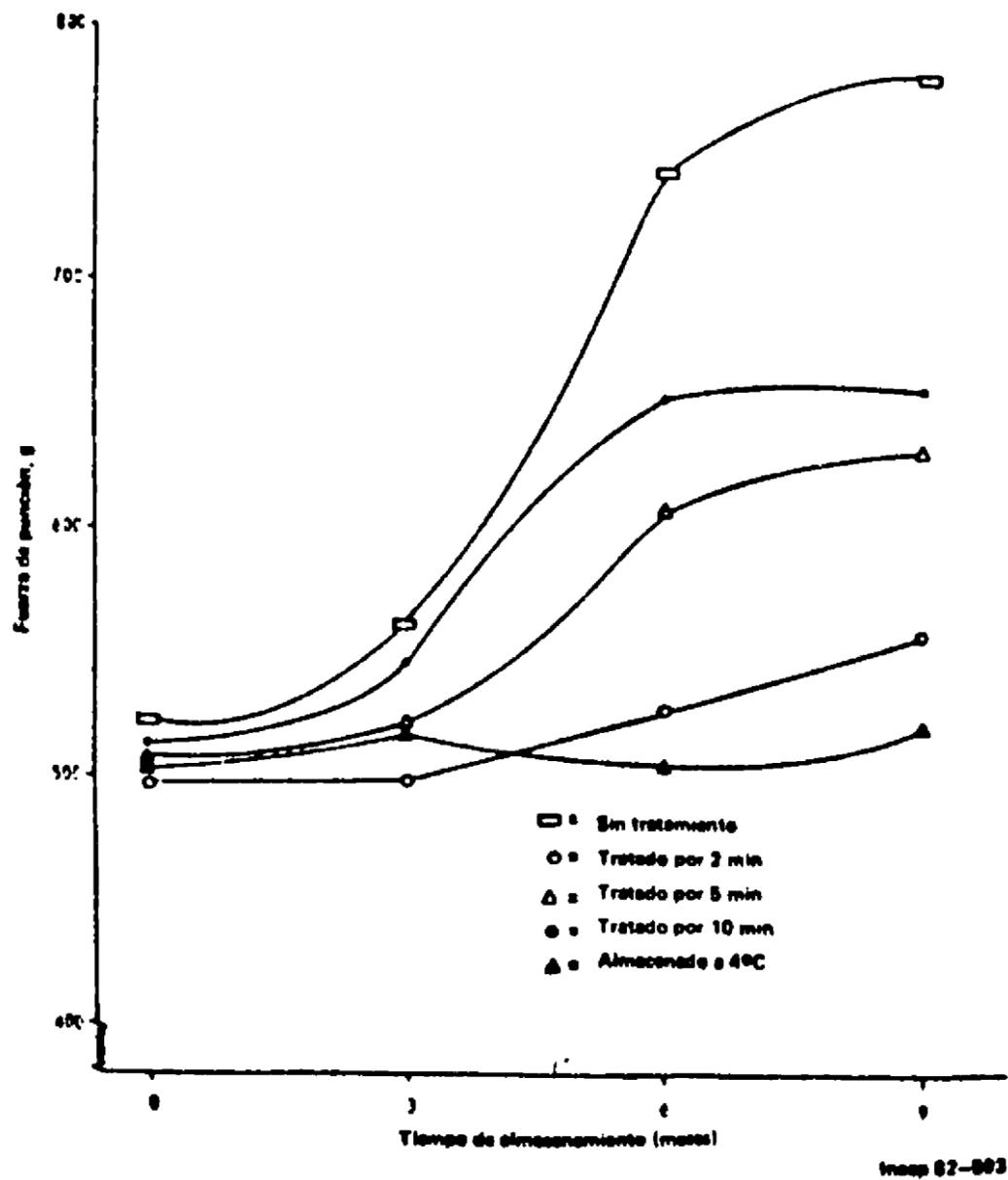
Incap 82 – 584

Cocción a Presión Atmosférica y Bajo Presión

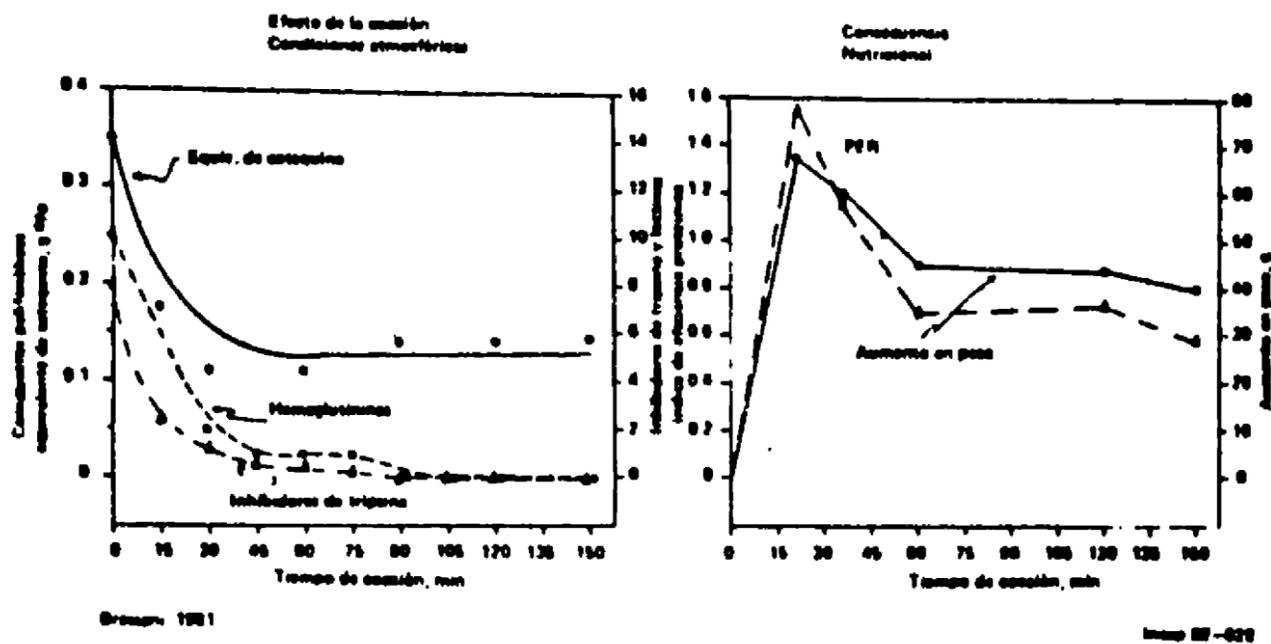
La cocción en húmedo es probablemente el procedimiento más común para preparar los alimentos para su consumo, tanto a nivel del hogar como de la industria.

Cocción en Húmedo

El frijol común así como otras leguminosas necesitan recibir un tratamiento térmico antes de su consumo, con el propósito de inactivar la presencia de factores antifisiológicos (Liener, 1969, Tobin y Carpenter, 1978). Esto se ilustra en la siguiente Gráfica N° 5. En un lado de la Gráfica se muestra el efecto del proceso en inactivar los inhibidores de la tripsina y de las hemaglutininas, mientras que en el lado opuesto, la Gráfica indica el mejoramiento observado en la calidad proteínica. Los factores antifisiológicos son destruidos en alrededor de 90 minutos, lo cual resulta en un aumento de la calidad proteínica. Sin embargo, un exceso en el tiempo de cocción resulta en una pérdida progresiva de su valor nutritivo. Esta pérdida progresiva se debe a una pérdida del aminoácido lisina. El proceso térmico húmedo puede ser también llevado a cabo bajo presión lo cual reduce el tiempo de exposición, al compararse con la cocción a presión atmosférica.



GRAFICA 4. Efecto del almacenamiento (25°C, 70% HR) sobre la dureza del frijol (18 Hr remojo, 20 min hirviendo), sin tratamiento o tratado en la retorta (15 psi, 121°C) frijol negro.



GRAFICA 5. Factores nutricionales limitantes en frijol común.

- Substancias antifisiológicas — inhibidores tripsina
- compuestos de hemaglutininas
- compuestos polifenolicos

Secador de Rodos

Otra técnica empleada para cocinar los alimentos para consumo se refiere al proceso conocido como secador de rodos. Las condiciones más importantes del proceso para inactivar los factores antifisiológicos y mejorar la calidad nutricional del producto son la temperatura, tiempo de residencia, ambos dependientes de la velocidad de los rodos, abertura entre rodos y concentración de sólidos. Resultados con muestras de leguminosas procesadas por este técnica se muestran en el siguiente Cuadro N° 6. Como se puede observar en el caso del frijol caupí (*Vigna sinensis*) el proceso fue capaz de dar un producto superior al obtenido con el proceso de autoclave o sea de cocción en húmedo (Bressani y col., 1977).

CUADRO 6. Efecto de la cocción de leguminosas por autoclaveado, secador de rodos y extrusión.

Proceso		Caupí/frijol común 50/50	Caupí
Autoclave	peso granado, g*	41.00 ± 6.80	44.00 ± 4.20
	PER	2.33 ± 0.18	1.47 ± 0.09
Secador de rodos	peso granado, g*	28.00 ± 0.40	52.00 ± 2.60
	PER	1.38 ± 0.08	1.97 ± 0.52
Extrusor	peso granado, g*	48.00 ± 4.90	75.00 ± 5.20
	PER	1.54 ± 0.04	2.12 ± 0.06

* 28 días.

Bressani y col., 1977.

Incap 82-580

Cocción por Extrusión

Uno de los procesos más recientes aplicado a los alimentos se refiere al procesamiento conocido como el de cocción-extrusión. Este proceso puede también ser realizado con un poco de adición de agua. En este mismo Cuadro N° 6 se comparan los resultados obtenidos con el proceso de extrusión para las mismas muestras y se compara con los procesos de autoclave y de secador de rodos. Nuevamente en el caso del caupí es interesante observar el aumento en la calidad proteínica obtenida con el proceso de extrusión, al comparar con el autoclave y el secador de rodos. Actualmente uno solo puede especular con las posibles razones de este aumento obtenido con el proceso de extrusión, en el sentido de que este proceso pueda causar una mayor inactivación de los factores antifisiológicos y una mayor susceptibilidad de la proteína a una hidrólisis más completa, o que haya sucedido un cambio en la fracción de los carbohidratos favoreciendo una mejor utilización de la proteína.

Germinación

Es un hecho generalmente reconocido que la germinación tiene un efecto en mejorar la calidad nutricional de las leguminosas de grano. Un aumento significativo en el contenido del ácido ascórbico ha sido observado durante la germinación de las semillas de leguminosas. Asimismo se ha encontrado también una mayor concentración de otras vitaminas en semillas de leguminosas germinadas. Varios intentos se han realizado con el propósito de estudiar el efecto del proceso de germinación en reducir los factores antifisiológicos y los cambios de los constituyentes orgánicos en leguminosas, con el propósito de mejorar su valor nutritivo, pero los resultados informados en la literatura han sido contradictorios, principalmente con respecto a la calidad de la proteína. La mayoría de los reportes sobre este tema indican que la actividad de los inhibidores de tripsina no cambia en las leguminosas germinadas, sin afectar el valor nutritivo, observación ésta que merece una mayor investigación. Asimismo se ha indicado también un rompimiento del almidón, los factores de flatulencia se reducen, así como el contenido de los polifenoles (Chen y col., 1975, Fordham y Wills, 1975, Everson y col., 1944, Kakade y Evans, 1966, Noor y col., 1980, Chandrasekar y Jayalakshmi, 1978; Chattopadhyay y Vanerjee, 1953, Sing y Jambunathan, 1981). Algunos resultados del efecto del proceso de germinación sobre la calidad proteínica del garbanzo se muestra en el siguiente Cuadro N° 7 como un ejemplo

(Khaleque y col., 1982). La germinación no afectó significativamente la calidad proteínica aun cuando se observó un pequeño aumento en la digestibilidad de la proteína. Debido a este aumento en la digestibilidad, se esperaría un aumento en la calidad proteínica, sin embargo, esto no se verificó debido a la deficiencia de los aminoácidos azufrados del frijol. Es de interés indicar también que no se observó tampoco una disminución significativa en la actividad de los inhibidores de la tripsina, lo que sin embargo no afectó la calidad de la proteína. Por otro lado una disminución significativa en la calidad proteínica del frijol común (Elías y col., 1973) ha sido informada por otros autores como se puede apreciar en el siguiente Cuadro N° 8. La Eficiencia Proteínica disminuyó significativamente después de 3 días de germinación, con un valor muy bajo a los 9 días, lo cual puede ser debido, en parte, a una disminución del contenido de los aminoácidos azufrados totales, ya que la digestibilidad de la proteína no mostró mayores cambios hasta el final del período de germinación. Aunque no se muestra en este Cuadro la solubilidad de la proteína en 0.01 N NaOH disminuyó, mientras que la fracción extraída con 5% KCl aumentó durante la germinación. La solubilidad de la proteína en agua y 70% de alcohol etílico permaneció prácticamente sin ningún cambio. Estos resultados deben ser objeto de futuras investigaciones, ya que la composición de los aminoácidos disponibles dependerá de la fracción proteínica que prevalezca a diferentes etapas del período de germinación, lo que probablemente explica los resultados contradictorios que han sido reportados.

CUADRO 7. Efecto de germinación sobre el valor nutritivo del gandul.

	Peso promedio ganado, g/10 días	NPR	I.T. unid/g	Digestib. verdadera %
Crudo	27	3.52 ± 0.40	4.28	72,6 ± 2.3
Hervido	35	3.53 ± 0.16	0.98	75,7 ± 1.9
2 días de germinación (C)	30	3.58 ± 0.41	3.05	75,1 ± 1.5
2 días de germinación (H)	30	3.86 ± 0.37	2.72	80,0 ± 2.5
4 días de germinación (C)	28	3.60 ± 0.32	3.60	78,0 ± 1.5
4 días de germinación (H)	34	3.67 ± 0.26	1.03	82,4 ± 2.0
Caseína	39	4.08 ± 0.22	—	99,0 ± 1.0

C - Crudo

H - Hervido

Khaleque y col. (en preparación).

Incap 82-582

CUADRO 8. Cambios en el valor nutritivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) durante la germinación.

Días de germinación	Aminoácidos azufrados totales g/16 g N	Ganancia en peso en 4 semanas g	Índice de eficiencia proteínica (PER)	Digestibilidad aparente %
0	1.44	28	0.99	67
3	1.25	24	0.86	64
6	1.21	15	0.59	67
9	1.15	4	0.26	60

Elías y col., 1973.

Incap 82-583

Fermentación

El proceso de fermentación de los alimentos ha sido un proceso conocido por el hombre hace mucho tiempo y usado extensivamente en varias partes del mundo, particularmente en el oriente. El número de alimentos que normalmente sufren el proceso de fermentación es relativamente alto, y obviamente numerosos cambios se verifican en la composición química y en el valor nutritivo, los cuales están bien documentados. Algunas observaciones generales hechas por diferentes investigadores con respecto al efecto de la germinación sobre el valor nutritivo se refieren a un aumento en la concentración de la vitamina B₁₂ y otras vitaminas del complejo B. Asimismo, se ha observado un aumento en la calidad proteínica y en la disponibilidad de varios nutrientes, y la remoción de sustancias antifisiológicas. De interés particular es el efecto suplementario inducido por el crecimiento microbiano en el sustrato (Dworschak, 1982). Aunque la fermentación es usualmente llevada a cabo en la leguminosa misma, desde el punto de vista nutricional, la fermentación de mezclas de leguminosas y cereales tienen perspectivas atractivas. Un ejemplo de esta naturaleza se muestra en el siguiente Cuadro N° 9. Mezclas de frijol de soya con trigo, en la proporción de 60:40 con base a la proteína, da origen a un alimento con una calidad proteínica superior que cualquiera de los componentes aisladamente (Bressani, 1974). Si estos alimentos individuales o combinados son fermentados a través del uso de microorganismos tales como el *Rhizopus oligosporus*, se observan aumentos significativos en la calidad proteínica, como se ilustra en este mismo Cuadro. El producto fermentado mostró en cada caso un aumento en la calidad proteínica, aumento éste que depende de la calidad proteínica del alimento a ser fermentado. Por ejemplo, la calidad del trigo aumenta mucho más que la calidad de la soya, porque la proteína de los microorganismos contiene lisinas, deficiente en el trigo, pero es deficiente en metionina, aminoácido éste que también es deficiente en las proteínas de la soya. El punto a indicar es que el proceso de fermentación ofrece buenas oportunidades para el desarrollo de alimentos de alta calidad proteínica (Wang y col., 1968). Finalmente, vale la pena mencionar que procesos fermentativos usando sustratos sólidos han sido considerados últimamente como una alternativa atractiva para la producción de nuevas fuentes de proteína en los países en desarrollo.

CUADRO 9. Peso ganado, ingesta de alimento e índice de eficiencia proteínica de ratas alimentadas con granos fermentados o no fermentados, como fuente de proteína.

Fuente de proteína	Aumento en peso g	Consumo de alimento g	PER
Caseína	98.0 ± 6.6*	347 ± 13*	2.81 ± 0.10*
Trigo (control)	37.6 ± 2.7	295 ± 13	1.28 ± 0.05
Trigo (fermentado)	65.0 ± 1.6**	322 ± 7**	1.71 ± 0.05**
Soya (control)	76.5 ± 2.3	353 ± 10	2.17 ± 0.03
Soya (fermentada)	72.9 ± 3.3	321 ± 12**	2.27 ± 0.05
Soya/trigo (control)	97.1 ± 3.2	389 ± 8	2.49 ± 0.04
Soya/trigo (fermentado)	94.2 ± 2.2	338 ± 12**	2.79 ± 0.04**

* Error estándar.

** Significativamente diferente (P < 0.05) del correspondiente grano no fermentado
Wang y col., 1968

Incap 82-575

Almacenamiento de Productos Procesados a Base de Leguminosas

Alimentos procesados a base de leguminosas incluyen los frijoles enlatados, harinas precocidas, o simplemente harinas. Sin embargo, estudios relacionados con el almacenamiento y el valor nutritivo son escasos. En el caso de las harinas, si éstas no son almacenadas apropiadamente pueden deteriorarse fácilmente, y un ejemplo con la harina de soya puede apreciarse en el siguiente Cuadro N° 10. En este ejemplo en particular la harina de soya fue almacenada durante 4 meses bajo condiciones inadecuadas antes de llegar a la fábrica de concentrados. Las muestras clasificadas por su color, fueron tomadas para su análisis químico y biológico con los resultados que se muestran en este Cuadro. El contenido de lisina disponible fue aceptable en las muestras levemente café, pero fue significativamente más bajo en las

CUADRO 10. Efecto del almacenamiento sobre el valor nutritivo de la harina de soya.

Harina de soya color	Lisina disponible g/16 g N	Prot. dig. %	NPR
Amarillo claro	5.82	86.6	3.89
Amarillo café	5.34	88.7	3.43
Café claro	4.45	83.5	2.58
Café oscuro	1.78	26.1	0.80
Caseína	—	—	4.53

INCAP, datos no publicados.

Incap 82-576

muestras más oscuras. La pérdida de disponibilidad de la lisina se refleja en la evaluación de la calidad de la proteína utilizando un método conocido como Razón Proteínica Neta (NPR), indicando una diferencia significativa en la calidad de la proteína (INCAP, datos no publicados). Este tipo de resultados ha sido también informado que se obtiene con otros productos alimenticios, principalmente con la leche en polvo, que frecuentemente es enviada a los países en desarrollo con los propósitos de distribuirla en los programas de alimentación suplementaria. Las pérdidas de alimentos a través de condiciones inadecuadas de manejo y de almacenamiento obviamente tienen implicaciones significativas desde el punto de vista económico y nutricional, y pueden ser reducidas o eliminadas mejorando las condiciones de almacenamiento. Observaciones similares (Cuadro 11) han sido hechas con la harina prococida de frijol común, preparada utilizando un proceso de cocción húmeda en el autoclave, seguido de una deshidratación y almacenadas en bolsas de polietileno a temperatura ambiente. Un almacenamiento prolongado resulta en un aumento de los ácidos grasos libres, disminución en el consumo de alimentos en pruebas biológicas, lo cual disminuye la calidad proteínica del producto (Elías y col., 1973).

CUADRO 11. Efecto del almacenamiento sobre el valor nutritivo de harinas procesadas de frijol.

Tiempo de almacenamiento (meses)	Acidos grasos libres		PER	
	Papel	Polietileno	Papel	Polietileno
0	20.2	20.2	1.21	1.21
3	20.2	20.2	1.06	0.98
9	21.8	19.3	1.12	1.13
15	32.6	37.0	0.82	1.00
18	69.0	62.3	0.87	1.00

Elías y col., 1973.

Incap 82-625

Recomendaciones

La discusión presentada mostró una serie de ejemplos con respecto al efecto del almacenamiento y procesamiento sobre el valor nutricional de las leguminosas, con un énfasis especial en el frijol común. Aunque las condiciones que determinan el endurecimiento del frijol durante el almacenamiento están relativamente bien establecidas, es importante conocer el mecanismo bioquímico catalizado por estas condiciones de almacenamiento con el propósito de desarrollar métodos prácticos que pueden reducir o inhibir el proceso. Asimismo, los componentes químicos responsables por la resistencia al ataque de insectos deben determinarse para minimizar las pérdidas físicas del producto y reducir el deterioro en valor nutritivo. En lo que se refiere al procesamiento, diferentes métodos pueden ser usados para maximizar el valor nutritivos de alimentos a base de leguminosas. A su vez un procesamiento inadecuado puede dar origen a productos que todavía contienen sustancias antifisiológicas y estructuras proteínicas resistentes a la hidrólisis y a la utilización. La identificación y cambios en las fracciones de los carbohidratos en las proteínas durante la germinación, deben ser determinados. Es necesario realizar más estudios con el propósito de determinar el efecto del almacenamiento sobre la estabilidad química y la disponibilidad biológica en diferentes alimentos. También la posible presencia de factores antinutricionales y antifisiológicos. Asimismo, una área adicional que debe recibir mayor atención en el futuro se refiere a la interrelación entre el procesamiento y el almacenamiento y su efecto sobre el valor nutricional de los alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Almas, K. and A.E. Bender (1980). Effect of heat treatment of legumes on available lysine. *J. Sci. Food Agr.* 31:448-452.
- Bressani, R. (1974). Complementary amino acid patterns. Chap. 16. p. 149-166. In: *Nutrients In Processed Foods. Proteins*. Ed. P.L. White and D.C. Fletcher. American Medical Association. Publishing Sciences Group Inc. Acton, MA.
- (1982). Research needs to up-grade the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). In: *Proceedings of the workshop "Current Aspects on Legumes as a Food Constituent with Special Emphasis on Lupines"*, San Diego, CA. August 1981.
- , L.G. Elías, M.T. Huezco y J.E. Braham (1977). Estudios sobre la producción de harinas precocidas de frijol y caupí, solos y combinados mediante cocción-deshidratación. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 27:247-260.
- , ----- and A.T. Valiente (1963). Effect of cooking and of amino acid supplementation on the nutritive value of black beans (*Phaseolus vulgaris*). *Brit. J. Nutr.* 17:69-78.
- Burr, H.K. and S. Kon (1966). Factors influencing the cooking rate of stored dry beans. p.50-52. Report of the 8th Dry Bean Research Conference. Bellaire, Mich. August 11-13, ARS-USDA 74-41.
- Chandrasekhar, U. and K. Jayalakshmi (1978). Evaluation of protein quality of sprouted, roasted and autoclaved legumes on albino rats. *Ind. J. Nutr. Diet.* 15:414-421.
- Chattopadhyay, H. and S. Banerjee (1953). Effect of germination on the biological value of proteins and the trypsin inhibitor activity of some common Indian pulses. *Ind. J. Med. Res.* 41:185-189.
- Chen, L.H., C.E. Wells and J.R. Fordham (1975). Germinated seeds for human consumption. *J. Food Sci.* 40:1290-1294.
- Dworschák, E. (1982). Effect of processing on nutritive value of food: fermentation. p.63-76. In: *Handbook of Nutritive Value of Processed Food. Vol. I. Food for Human Use*. Ed. M. Rechcigl, Jr. CRC Press.
- Elías, L.G. y R. Bressani (1981). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre las características tecnológicas y nutricionales del frijol común (*P. vulgaris*). *INCAP Annual Report*.
- , R. Bressani y M. Flores (1973). Los problemas y los potenciales en el almacenamiento y procesamiento de las leguminosas de grano comestibles en América Latina. p.32-48, 1973. Seminario "El Potencial del Frijol y de Otras Leguminosas de Grano Comestibles en América Latina". Feb. 26-Marzo 1, 1973. CIAT, Cali, Colombia.
- , A. Conde, A. Muñoz and R. Bressani (1973). Effect of germination and maturation on the nutritive value of common beans (*P. vulgaris*) p.139-152. In: *Nutritional Aspects of Common Beans and other Legume Seeds as Animal and Human Foods*. Ed. W.G. Jaffé. Proc. Meeting held N° 6-9, 1973. Ribeirão Preto, S.P. Brasil.
- (1982). Conocimientos Actuales sobre el Proceso de Endurecimiento del Frijol. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 32:233-257.
- Everson, G.J., H. Sttenbock, D.C. Cederquist and H.T. Parsons (1944). The effect of germination, the stage of maturity and the variety upon the nutritive value of soybean protein. *J. Nutr.* 27:225-229.
- Fordham, J.R., C.E. Wells and L.H. Chen (1975). Sprouting of seeds and nutrient composition of seeds and sprouts. *J. Food Sci.* 40:552-556.
- García Soto, A. y R. Bressani (1982). Efecto de la radiación solar sobre algunas características físico-químicas del grano de frijol (*P. vulgaris*). *Observaciones preliminares. Turrialba (in press)*.

- Khaleque, A., L.G. Elías, J.E. Braham and R. Bressani (1982). Studies on the development of infant foods from plant protein sources Part 1. Effect of germination of chickpea (*Cicer arietinum*) on the nutritive value and digestibility of protein. *J. Sci. Food Agr.* (in press).
- Kakade, M.L. and R.J. Evans (1966). Effect of soaking and germination on the nutritive value of navy beans. *J. Food Sci.* 31:781-783.
- Liener, I.E. (1969). Toxic constituents of plant foodstuffs (1969). Academic Press, New York, USA.
- Molina, M.R., M.A. Baten, R.A. Gómez Brenes, K.W. King and R. Bressani (1976). Heat treatment: a process to control the development of the hard-to-cook phenomenon in black beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Food Sci.* 41:661-666.
- , G. de la Fuente and R. Bressani (1975). Interrelationship between soaking time, cooking time, nutritive value and other characteristics of the black bean (*Phaseolus vulgaris*). *J. Food Sci.* 40:587-591.
- Noor, I., R. Bressani and L.G. Elías (1980). Changes in chemical and selected biochemical components, protein quality and digestibility of mung bean (*Vigna radiata*) during germination and cooking. *Qual. Plant. Foods Human Nutr.* 30:235-244.
- Pabon, R.L.A., C.J. Aguirre y J.A. Reyes Q. (1976). Resistencia de 17 variedades comerciales de frijol (*P. vulgaris* L.) en almacenamiento al ataque del gorgojo pintado de los granos (*Zabrotes subfasciatus* Boh). *Acta Agrón.* 26:39-47.
- Parpia, H.A.B. (1972). Utilization problems in food legumes. p.281. In: Nutritional improvement of Food Legumes by Breeding. Proc. Symp. PAG/FAO. July 3-5.
- Sefa-Dedeh, S., D.W. Stanley and P.W. Voisey (1978). Effects of soaking time and cooking conditions on texture and micro structure of cowpeas (*Vigna unguiculata*). *J. Food Sci.* 43:1832-1838.
- , ----- and ----- (1979). Effect of storage time and cooking conditions on the hard-to-cook defect in cowpeas (*Vigna unguiculata*). *J. Food Sci.* 44:790-796.
- Siegel, A. and B. Fawcett (1976). Food legume processing and utilization with special emphasis on application in developing countries. IDRC-TS 1, 1976. IDRC, Ottawa, Canada.
- Singh, U. and R. Jambunathan (1981). Studies on Desi and Kanbuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars: levels of protease inhibitors, levels of polyphenolic compounds and in vitro protein digestibility. *J. Food Sci.* 46:1364-1367.
- Tahhan, O. and G. Hariri (1981). Infestation of faba bean seeds by *Bruchus Drutipes* Bandi (*Coleoptera bruchidae*). p.58. FABIS, Newsletter N° 3, April 1981. ICARDA.
- Tobin, G. and K.J. Carpenter (1978). The nutritional value of the dry bean (*Phaseolus vulgaris*). A literature review. *Nutr. Abst. & Revs.* 48:919-936.
- Varriano-Marston, E. and E. de Omana (1979). Effect of sodium salt solution on the chemical composition and morphology of black bean (*P. vulgaris*). *J. Food Sci.* 44:531-536.
- Yadav, N.R. and I.E. Liener (1978). Nutritional evaluation of dryroasted navy bean flour and mixtures with cereal proteins. p.401-413. In: Nutritional Improvement of Food and Feed Proteins. Ed. M. Friedman. Ad. Exptl. Medicine & Biol. Vol. 105. Plenum Press, New York.
- Wang Hwa, L., D.I. Ruttle and C.W. Hesseltine (1968). Protein quality of wheat and soybean after *Rhizopus oligosporus* fermentation. *J. Nutr.* 96:109-114.