

EFECTO DE DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO SOBRE EL DESARROLLO DE LA DUREZA DEL FRIJOL

*Elvira González de Mejía*¹

Universidad del Valle de Guatemala

INTRODUCCION

Cuando se estudia el problema alimentario mundial en términos de un sistema de producción, almacenamiento, distribución y utilización de alimentos, nos damos cabal cuenta que los mayores esfuerzos de investigación se han dedicado a los aspectos de producción de los mismos, lo que no ha sucedido en lo referente a su almacenamiento, distribución y utilización. Aun cuando se invierten grandes esfuerzos y recursos en aumentar la producción de alimentos en los países en vías de desarrollo, las condiciones inadecuadas de almacenamiento y la falta de tecnología post-cosecha resultan en pérdidas de lo producido y, consecuentemente, en su menor disponibilidad.

La enorme cantidad de alimentos desperdiciados o mal utilizados que existe en el mundo es un hecho reconocido desde el siglo pasado (1). A pesar de que estas pérdidas no han sido cuantificadas adecuadamente, su importancia es cada día mayor debido a factores tales como la creciente escasez de alimentos, sobrepoblación y desnutrición.

1 Profesora del Departamento de Química, Universidad del Valle de Guatemala, Apartado Postal No. 82, Guatemala, Guatemala, C. A.

En relación a las pérdidas de alimentos debidas a almacenamiento inadecuado, se sabe que en América Latina, al igual que en otros países del mundo en desarrollo, los sistemas utilizados para almacenar los alimentos producidos son inapropiados y deficientes (2). Esta situación constituye un grave problema si se piensa en términos de pérdidas post-cosecha y del impacto que estas pérdidas pueden tener en la nutrición y la economía de los países. Un caso típico de cuantiosas pérdidas ocurridas durante el almacenamiento, lo constituye el frijol (*Phaseolus vulgaris*), leguminosa que para muchas poblaciones de nuestra Región representa uno de sus alimentos básicos (3).

Durante su almacenamiento, esta leguminosa se ve afectada por cambios indeseables que alteran negativamente su calidad. Así, puede producirse un deterioro en las características nutricionales, organolépticas y culinarias de este grano (4).

Uno de los problemas de mayor importancia que ocurren durante el almacenamiento del frijol es su endurecimiento (5), fenómeno que tiene importantes implicaciones prácticas. Por un lado, sus características organolépticas y culinarias se ven afectadas ya que, a pesar de largos tiempos de cocción, no logra obtenerse la suavidad del grano deseada por el consumidor. Como consecuencia, la aceptabilidad de esta leguminosa disminuye. Por otro lado, las implicaciones económicas del frijol duro son muy desfavorables, tanto en lo que se refiere a las pérdidas ocasionadas por la inaceptabilidad del producto en sí, como por el alto consumo energético requerido para su preparación.

En los últimos años, los Gobiernos de Centro América y Panamá, a través de sus ministerios de agricultura, han resaltado el hecho de que una gran parte del frijol almacenado se pierde debido al endurecimiento del grano. Por ejemplo, se estima que en 1977 las pérdidas de frijol debidas a dicho fenómeno, en esta área geográfica, ascendieron a 12 millones de dólares (6).

En consideración a lo expuesto, el propósito de este trabajo fue el de estudiar el efecto de diversas condiciones de almacenamiento del frijol sobre la dureza, tiempo de cocción, y absorción de agua del grano. Se ha pretendido, por un lado, conocer las condiciones más favorables de almacenamiento que conlleven a evitar o a disminuir el endurecimiento del grano y, por el otro, explorar la identificación de factores bioquímicos del grano que pudieran estar involucrados en este indeseable proceso. En este trabajo se presentan los resultados parciales de dicho estudio.

MATERIALES Y METODOS

Se usaron variedades de frijol recién cosechado: negro Suchitán y Rojo de Seda.

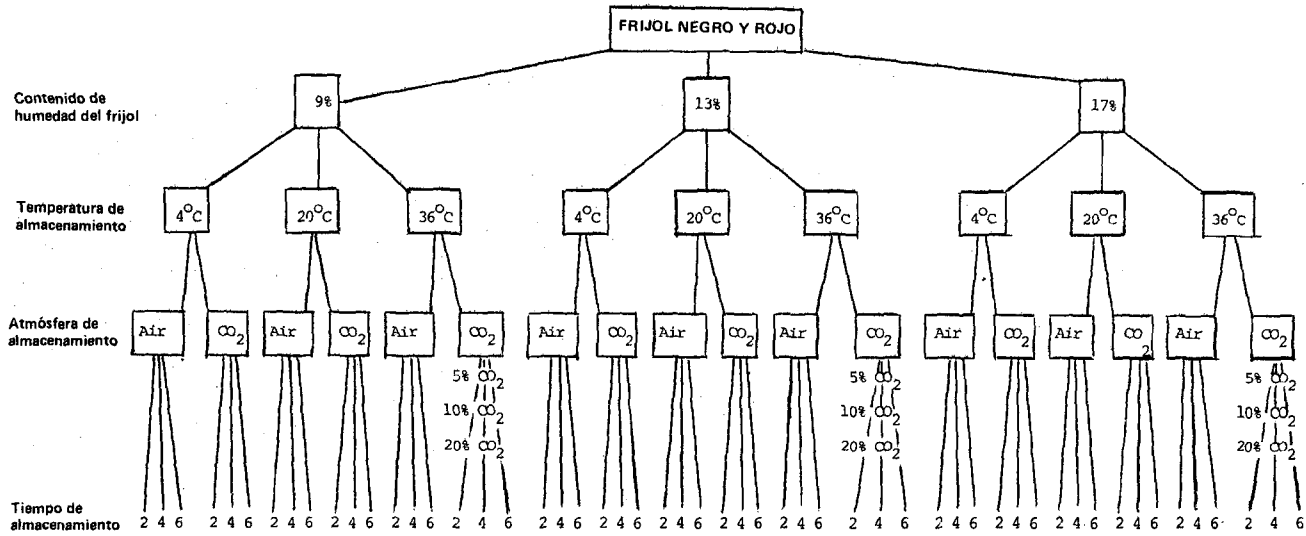
Los frijoles se limpiaron y seleccionaron en base a su tamaño, para luego ser almacenados por un período de seis meses, de acuerdo al diseño experimental y condiciones de almacenamiento que se exponen en la Figura 1. El contenido de humedad de los frijoles fue de 9, 13 y 17^o/o, cada una de estas humedades en equilibrio con humedades relativas de 40, 60 y 80^o/o, respectivamente (7, 8). Las temperaturas utilizadas para cada contenido de humedad fueron 4, 20 y 36^oC, incluyendo así las condiciones de elevadas temperaturas de las regiones tropicales. Las muestras se almacenaron en bolsas de manta delgada y éstas, a su vez, en recipientes de vidrio cerrados únicamente con dos perforaciones para la entrada y salida de gas. Los recipientes fueron interconectados por una serie de tubos de hule para inyectar constantemente, y en forma respectiva, a unos, CO₂, a otros, aire y, a otros, combinaciones de estos gases. El propósito de dicho procedimiento fue el de proporcionar al medio de almacenamiento de los frijoles diferentes atmósferas de CO₂, y regular así el contenido de oxígeno de los recipientes. La meta final bajo estas condiciones gaseosas, fue examinar ciertos procesos bioquímicos que requieren la presencia de oxígeno. Se emplearon dos muestras por tratamiento.

El contenido de humedad inicial de la muestra original era de 13^o/o, y para lograr las otras dos humedades, se ajustaron los contenidos de humedad de las muestras como sigue: en el caso del 9^o/o, secando el frijol original a 35^oC por 24 horas; y para 17^o/o se calculó la cantidad adicional de agua necesaria para lograr esta humedad. Se determinó en cada caso la humedad del grano entero con el fin de confirmar estos valores.

Análisis Físicos y Químicos

Antes de iniciar el proceso de almacenamiento bajo las condiciones descritas así como a los 2, 4 y 6 meses de almacenamiento, se determinaron por duplicado, en los frijoles, los siguientes parámetros físicos y químicos:

- a) *Contenido de humedad del grano.* Se determinó por la diferencia en peso antes y después del secado en horno al vacío durante 16 horas (9). Esta medida se efectuó inmediatamente después de recolectada la muestra.



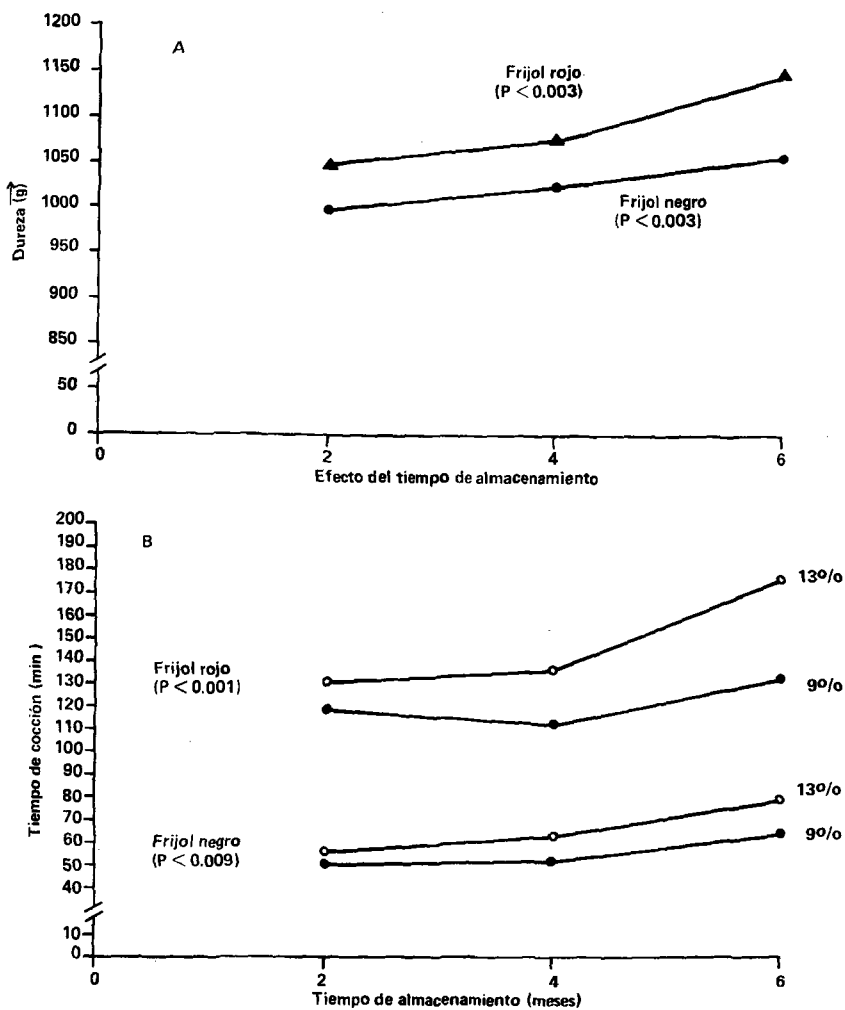
Incap 81 - 184

FIGURA 1
Diseño experimental

- b) *Dureza del grano.* Fue determinada usando el penetrómetro Instron (10). Para cada prueba se remojaron 20 semillas por 16 horas e inmediatamente después de separar el agua se procedió a medir la dureza de cada una utilizando una velocidad de cabezal de 20 cm/min, y una velocidad de graficador de 5 cm/min. Como indicador de dureza se evaluó únicamente el primer pico del trazo del graficador correspondiente a cada medición. Los datos presentados representan el promedio de las 20 mediciones.
- c) *Coefficiente de absorción de agua de la semilla.* Se determinó de acuerdo a métodos estándares de evaluación (11), procedimiento que se basa en medidas de peso de 100 semillas antes y después de ser remojadas por 16 horas.
- d) *Tiempo de cocción.* Se utilizaron las muestras provenientes de la determinación del coeficiente de absorción de agua. Las semillas se agregaron en agua hirviendo y al conjunto se le continuó aplicando calor hasta determinar el tiempo requerido para que el 50% de los frijoles rompieran su cáscara (11).
- e) *Contenido de taninos de los frijoles.* Esta determinación se efectuó mediante el procedimiento descrito por Price, Van Scoyoc y Butter (12). Se usó este método en particular debido a su especificidad para determinar taninos condensados.
- f) *Actividad de la polifenol-oxidasa (PFO).* La actividad enzimática se determinó mediante el método descrito por Flurkey y Jen (13). El frijol fue finamente molido pasando en este proceso por un tamiz de malla número 60. El extracto enzimático se preparó a partir de esta harina, usándose catecol como sustrato de la reacción, la cual se llevó a cabo a temperatura ambiente (25°C). Una unidad de actividad enzimática se definió como la cantidad de enzima capaz de cambiar la absorbancia a 420 nm, 0.001 unidades de absorbancia por minuto.
Los datos obtenidos fueron analizados por análisis de varianza y regresiones múltiples.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 2 muestra la relación entre el tiempo de almacenamiento del frijol con la dureza (panel A) y tiempo de cocción (pa-



Incap 81-183

FIGURA 2

A. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la dureza del frijol (*Phaseolus vulgaris*). B. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el tiempo de cocción del frijol con diferentes contenidos de humedad

nel B). Según se observa, existe una relación significativa para ambas variedades de frijol entre el tiempo que ha permanecido almacenado y el grado de dureza desarrollado. Esta misma relación se observa también para el tiempo de cocción, en cuyo caso se aprecia el efecto de la humedad del grano. El aumento en el tiempo requerido para la cocción de estos frijoles en relación al tiempo de almacenamiento fue mayor en los frijoles con 130/o de humedad que en los almacenados a 90/o. No se exponen datos para 170/o de humedad debido a la contaminación de éstos con hongos. En efecto, las muestras que se almacenaron a 170/o de humedad mostraron un crecimiento franco de hongos, principalmente a las temperaturas altas, lo cual se vio influenciado por el tiempo de almacenamiento.

Estos resultados indican que el tiempo de almacenamiento aumenta tanto la dureza como el tiempo de cocción del grano, y que este último parámetro se ve más afectado si los frijoles son almacenados a humedades relativamente altas, ya que la humedad del grano es consecuencia del medio ambiente. La correlación que se obtuvo entre dureza y humedad del grano no fue significativa para ambas variedades, pues el valor de humedad máximo analizado fue de 130/o, lo cual concuerda con informes de la literatura en el sentido de que únicamente a mayores humedades de almacenamiento del grano existe correlación significativa con la dureza (14). De esto podría deducirse la importancia que tiene el contenido de humedad original del grano, ya que los frijoles con humedades iniciales altas estarán más expuestos a un deterioro más rápido.

Por otro lado, es importante mencionar que la correlación entre dureza y tiempo de cocción fue estadísticamente significativa sólo para el frijol negro, y no para la otra variedad. Esta inconsistencia en la asociación entre los dos parámetros mencionados sugiere que la dureza y el tiempo de cocción del grano son dos fenómenos de naturaleza distinta. Por ejemplo, la dureza correlacionó significativamente con el coeficiente de absorción de agua para el frijol rojo, $r = 0.55$, $P < 0.001$ y para el frijol negro, $r = 0.31$ y $P < 0.067$; sin embargo, este último parámetro no correlacionó con el tiempo de cocción del grano. Este mismo fenómeno ha sido observado en el caso de otras variedades (15). Analizando la forma de medición de dureza en este estudio, dicha característica estaría condicionada, en primer término, por la resistencia de la cáscara (10) mientras que el tiempo de cocción podría depender principalmente de factores bioquímicos del endospermo. Esto podría indicar que el tiempo de cocción es una medición más práctica

para determinar la calidad del grano en términos de su aceptabilidad de consumo.

La interacción entre la temperatura de almacenamiento, el tiempo de almacenamiento y su efecto en el tiempo de cocción, se muestra en la Figura 3. Como se observa, la temperatura más alta

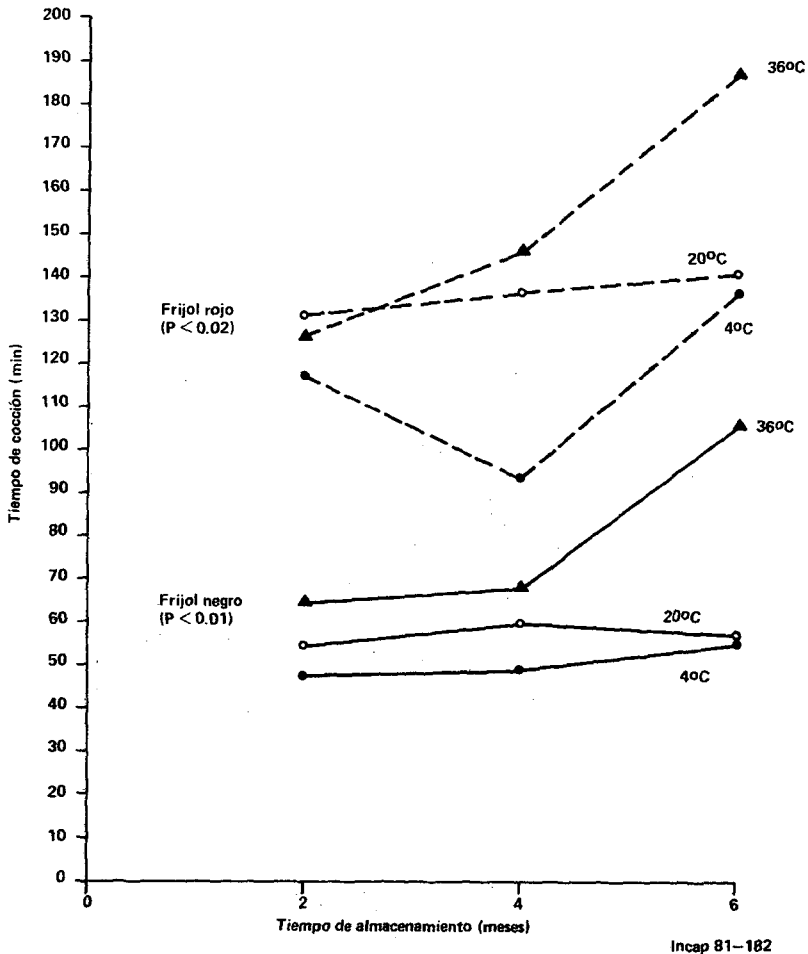


FIGURA 3

Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el tiempo de cocción del frijol (*Phaseolus vulgaris*) a diferentes temperaturas de almacenamiento

(36°C) produjo en ambas variedades un aumento significativo en el tiempo de cocción del grano después de cuatro meses de almacenamiento, observación que evidencia el efecto que las temperaturas ambientales altas ejercen en el deterioro del grano. Recapitulando, podríamos entonces decir que la temperatura, y más que todo la humedad del grano, son dos factores importantes que condicionan el tiempo de cocción del frijol como ya lo han informado otros autores (15, 17). Por ejemplo, Kon (18) en 1968 indicó que el almacenamiento de frijol con un alto contenido de humedad, resulta en un aumento sustancial en su tiempo de cocción. Este tipo de observaciones han llevado, incluso, a postular que en el caso de algunas áreas del mundo, si se dispone de capital, podría resolverse el problema del endurecimiento de este grano mediante el secado artificial del frijol hasta niveles bajos de humedad (19).

La Figura 4 muestra el efecto de la condición atmosférica en que fue almacenado el frijol, en su tiempo de cocción. Según se aprecia, después de cuatro meses los frijoles almacenados en aire requirieron mayores tiempos de cocción que aquéllos almacenados en una atmósfera de CO₂. Esta interacción fue significativa para el frijol rojo ($P < 0.05$) pero no para el negro, aunque en esta última variedad se mantiene exactamente la misma tendencia que la observada para el frijol rojo. Los resultados, pues, indican que la presencia del aire, posiblemente debido a su contenido de oxígeno, tiene un efecto negativo sobre el tiempo de cocción del grano, ya que si lo eliminamos reemplazándolo con CO₂ este fenómeno no sucede. El efecto de diferentes proporciones de CO₂ relacionadas con aire en la dureza del grano, se presenta en la Figura 5. Nuevamente, el deterioro en calidad del frijol almacenado en atmósfera de aire es mayor. Estas observaciones de tiempo de cocción y dureza del grano en diferentes condiciones atmosféricas de almacenamiento constituyen el primer informe existente acerca de este fenómeno para *Phaseolus vulgaris*. Los cambios sugieren que, posiblemente, el endurecimiento del grano está relacionado a un proceso oxidativo.

Influencia del contenido de taninos sobre el endurecimiento del frijol. Con el propósito de estudiar el papel que la influencia de los taninos ejerce en el endurecimiento del grano, se determinó la concentración de taninos condensados en las muestras. Como puede observarse en la Figura 6, el contenido de taninos del grano disminuyó con el tiempo de almacenamiento, fenómeno que se hizo más evidente en los frijoles almacenados a la temperatura más alta. De manera interesante, este cambio en taninos correlacionó

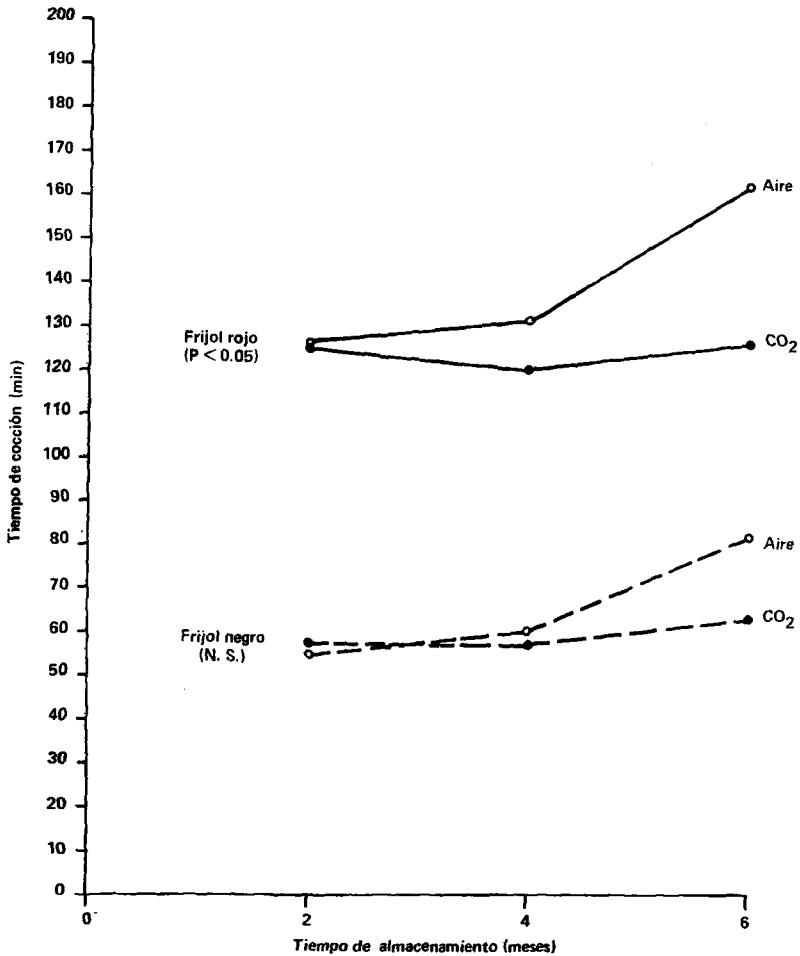
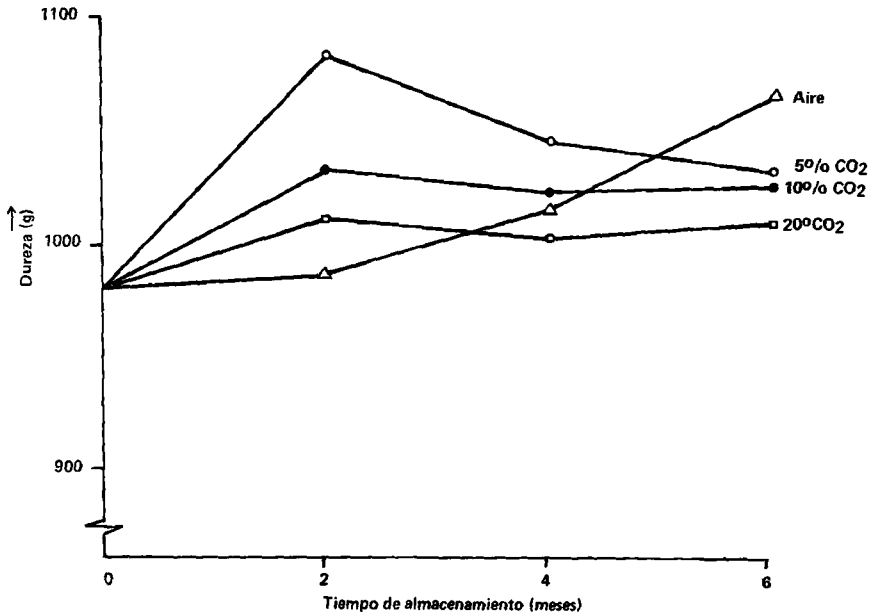


FIGURA 4

Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el tiempo de cocción del frijol (*Phaseolus vulgaris*) almacenado en diferentes atmósferas.

significativamente y en forma negativa con el tiempo de cocción. (Para frijol rojo $P < 0.08$ y para frijol negro $P < 0.001$). Este hallazgo plantea la posibilidad de que los taninos pudiesen migrar al interior del grano, oxidarse, y así intervenir en el proceso de endurecimiento.



Incap 81-185

FIGURA 5

Dureza del frijol negro (13% de humedad) en relación al tiempo de almacenamiento a diferentes concentraciones de CO₂

Ya que los taninos son compuestos fenólicos susceptibles a oxidación enzimática, se investigó la actividad de polifenol-oxidasa en el grano (20). Como se ilustra en la Figura 7, al aumentar la temperatura de almacenamiento disminuye el contenido de taninos del grano, y simultáneamente aumenta la actividad de polifenol-oxidasa. Este fenómeno sugiere que el menor contenido de taninos fue producido por una oxidación enzimática de los mismos, hecho que apoya la hipótesis de que el endurecimiento del grano pueda deberse a una oxidación de polifenoles como sucede en otros productos vegetales (21). Este fenómeno se observó únicamente a los seis meses de almacenamiento y en el caso del frijol negro.

En este estudio también se hizo evidente, como ya lo han sugerido otros autores (22), que el origen y la variedad de frijol juegan un papel importante en el endurecimiento del mismo. Como lo muestra la Figura 8, la variedad roja de frijol, además de tener

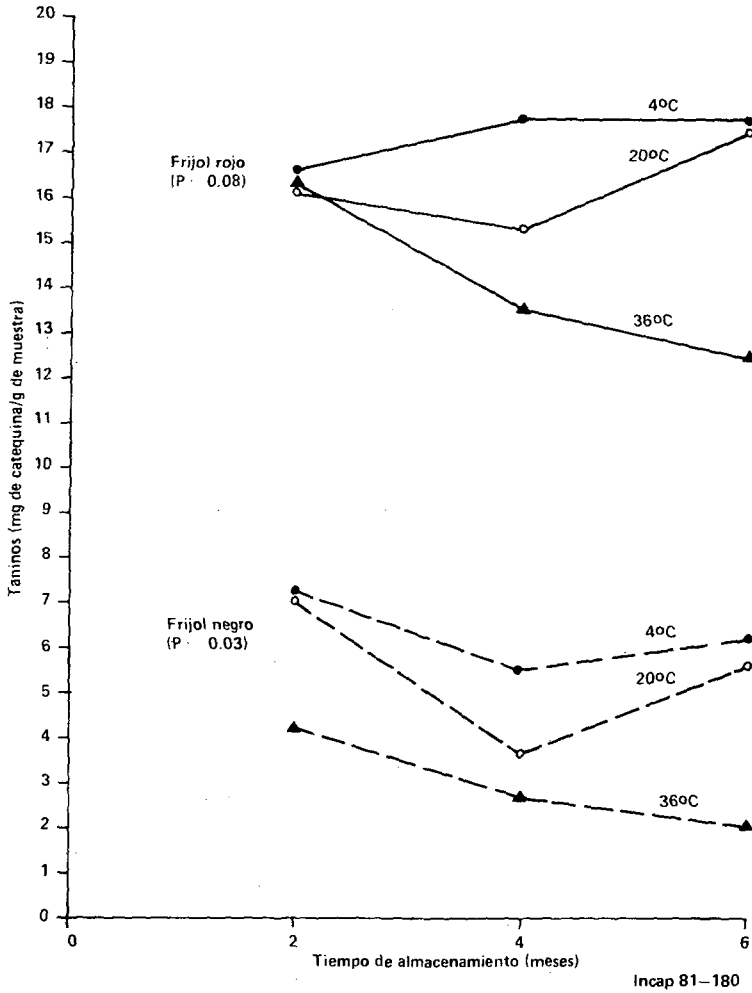
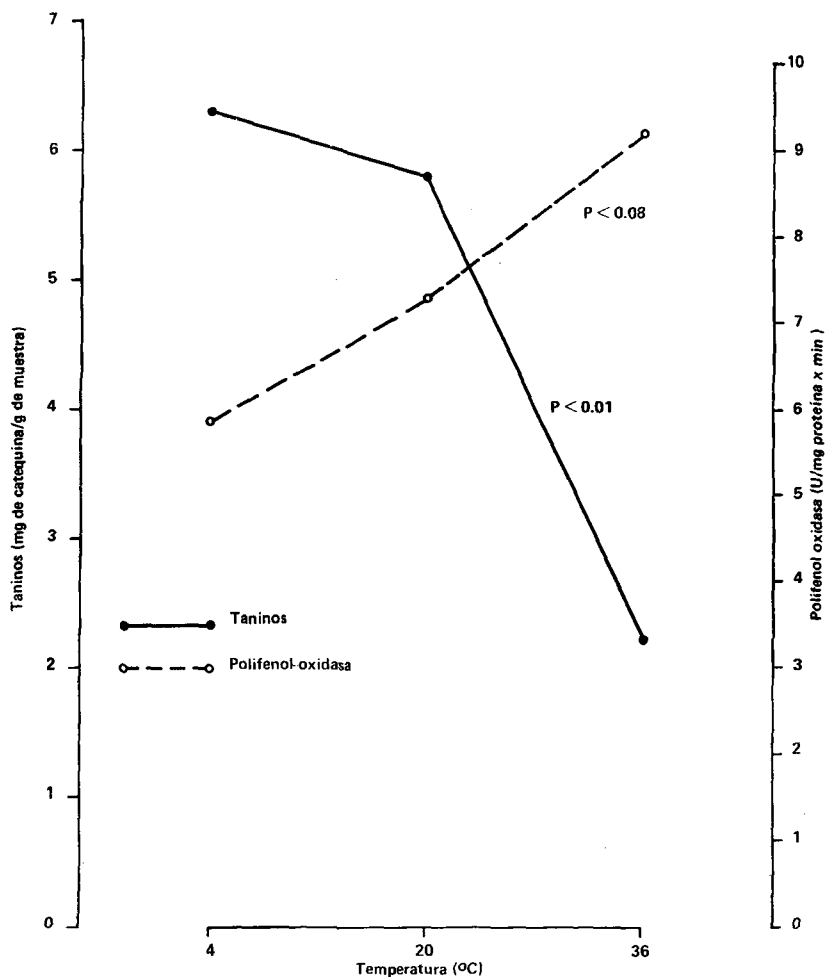


FIGURA 6

Influencia del tiempo de almacenamiento y de la temperatura sobre el contenido de taninos del frijol



Incap 81-179

FIGURA 7

Relación entre el contenido de taninos y polifenol-oxidasas a diferentes temperaturas después de seis meses de almacenamiento del frijol negro

una dureza y un tiempo de cocción inicial mayor que la variedad negra, sufrió mayor endurecimiento durante el período de estudio, excepto cuando los frijoles fueron almacenados a 4°C.

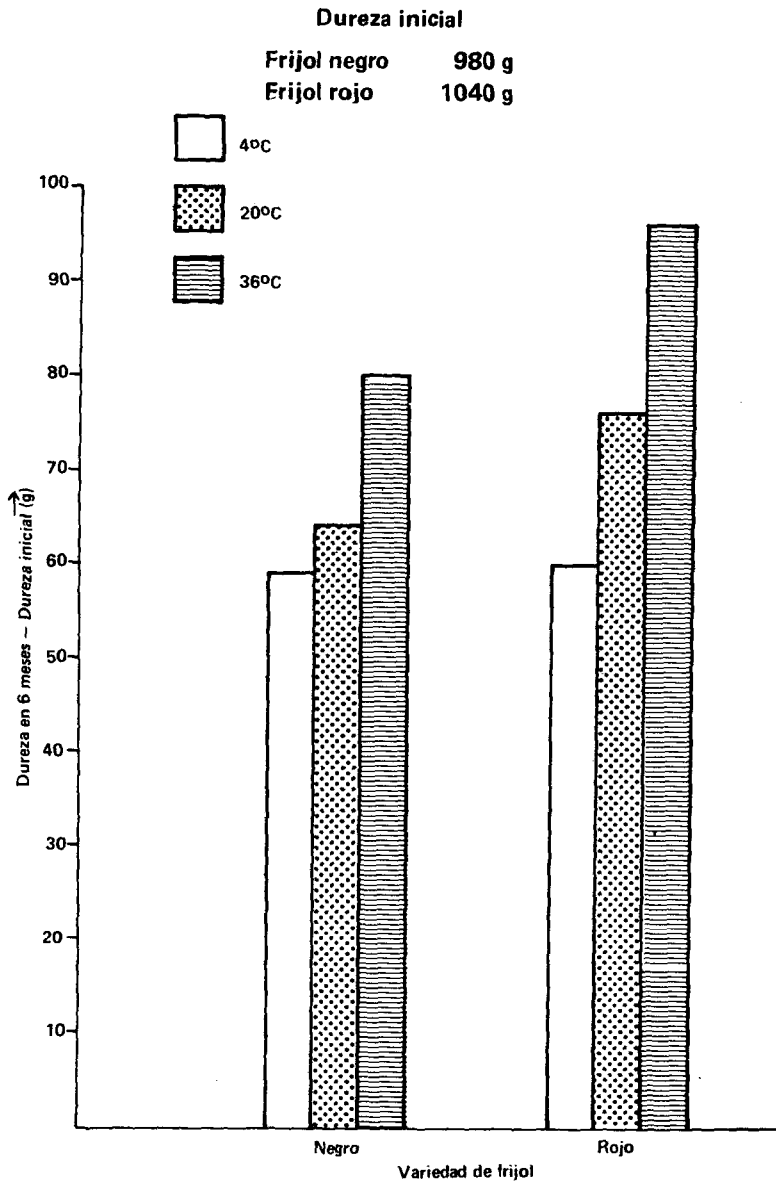


FIGURA 8

Efecto de la variedad de frijol sobre el endurecimiento de la semilla a 90/o de humedad después de seis meses de almacenamiento en aire

CONCLUSIONES

Las pérdidas de alimentos constituyen una parte importante del problema alimentario mundial. Es nuestra opinión que si no se resuelven los problemas de distribución y pérdida de alimentos, la desnutrición continuará teniendo un impacto negativo en la población.

El almacenamiento adecuado de granos puede evitar su endurecimiento. Si se evita este fenómeno se ahorra energía; asimismo, se aumenta su disponibilidad y consumo.

En síntesis, los resultados de este estudio indican que:

1. El tiempo de almacenamiento del frijol induce aumentos significativos en la dureza y el tiempo de cocción del grano.
2. La dureza y el tiempo de cocción —al no correlacionar significativamente— sugiere que estas dos características son fenómenos de distinta naturaleza: el primero relacionado a la cáscara, y el segundo a factores bioquímicos del endospermo.
3. La temperatura y la humedad de almacenamiento desempeñan un papel importante en el tiempo requerido para la cocción del grano: a mayor temperatura, mayor tiempo de cocción. Se considera que la humedad constituye un factor más crítico que la temperatura, ya que las humedades altas conducen además a la contaminación con hongos, lo que constituiría también una pérdida durante el almacenamiento.
4. Existe una relación negativa y significativa entre la dureza del grano y el coeficiente de absorción de agua.
5. El frijol almacenado en una atmósfera de aire, comparada con una atmósfera de CO₂, sufre mayor deterioro en relación al tiempo requerido para su cocción. Este fenómeno sugiere que el endurecimiento del grano es un proceso oxidativo.
6. El contenido de taninos del frijol disminuye con el tiempo de almacenamiento, principalmente si la temperatura es elevada. En el caso del frijol negro, esta disminución en taninos se acompaña de un aumento en la actividad enzimática de polifenol-oxidasa, actividad que es mayor a mayor temperatura de almacenaje.
7. La variedad roja de frijol acusa una tendencia a sufrir mayores cambios durante el proceso de almacenamiento.

RECOMENDACIONES

Aunque el estudio que nos ocupa carece de un componente de factibilidad económica, con base en los resultados obtenidos se pueden formular las siguientes recomendaciones, teniendo en mente que debe dársele prioridad a aquellas alternativas que son las más prácticas y factibles:

1. El frijol debe almacenarse con el menor contenido posible de humedad, lo que en escala industrial podría lograrse usando un secador hasta alcanzar bajos contenidos de humedad en la semilla. A nivel del pequeño agricultor, el secado al sol podría ser la única alternativa práctica.
2. El lugar de almacenamiento debe ser fresco y seco, ya que temperaturas altas afectan negativamente el tiempo de cocción del grano.
3. De ser posible, debería evitarse la exposición del frijol al oxígeno, lo que podría lograrse reemplazando el aire contenido en los recipientes de almacenamiento por otros gases, por ejemplo, CO₂. A nivel del pequeño productor, esto se podría hacer colocando los frijoles previamente secados dentro de una bolsa plástica, la cual debe cerrarse en forma tal que sólo se permita en su interior un mínimo de aire. En esta situación bien podría ocurrir que el CO₂ expirado por el grano reemplazara, al menos en parte, el contenido remanente de aire dentro de la bolsa.

BIBLIOGRAFIA

1. Sinha, R. N. & W. E. Muir (Eds.). **Grain Storage: Part of a System.** Westport, Connecticut, The Avi Publishing Co., Inc., 1973.
2. Hall, D. W. **Manipulación y Almacenamiento de Granos Alimenticios en las Zonas Tropicales y Subtropicales.** Roma, FAO, 1971, 400 p. (Cuadernos de Fomento Agropecuario No. 90).
3. Bressani, R., M. Flores & L. G. Elías. Acceptability and value of food legumes in the human diet. En: **Potentials of Field Beans and Other Food Legumes in Latin America, Cali, Colombia, February 26-March 1, 1973.** D. Wall (Ed.). Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1975, p. 17-48. (Series Seminars 2E).
4. Elías, L. G., R. Bressani & M. Flores. Problems and potentials in storage and processing of food legumes in Latin America. En: **Potentials**

- of Field Beans and Other Food Legumes in Latin America, Cali, Colombia, February 26—March 1, 1973. D. Wall (Ed.). Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1975, p. 52-87. (Series Seminars 2E).
5. Gloyer, W. O. Hardshell of beans: its production and prevention under storage conditions. *Proc. Am. Assoc. Official Seed Analysts*, **20**: 52-55, 1928.
 6. Comunicación personal, INDECA, 1978.
 7. Weston, W. T. & H. T. Mórris. Hygroscopic equilibria of dry beans. *Food Technol.*, **8**: 353-355, 1954.
 8. Rockland, B. Saturated salt solutions for statistics control of relative humidity between 5° and 40°C. *Analytical Chem.*, **32**: 1375-1376, 1960.
 9. Association of Official Agricultural Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 11th ed. Washington, D. C., The Association, 1970, p. 532.
 10. Sefa-Dedeh, S., D. W. Stanley & P. W. Voisey. Effects of soaking time and cooking conditions on texture and microstructure of cowpeas (*Vigna unguiculata*). *J. Food Sci.*, **43**: 1832-1838, 1978.
 11. Hulse, J. H., E. O. Rachie & L. W. Billingsley. *Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders*. Ottawa, Canada, International Development Research Centre, 1977 (IDRC-TS7e).
 12. Price, M. L., S. Van Scoyoc & L. G. Butter. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agr. Food Chem.*, **26**: 1214-1218, 1978.
 13. Flukey, W. H. & J. J. Jen. Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches. *J. Food Sci.*, **43**: 1826-1828, 1978.
 14. Ruiloba, E. de. *Efecto de Diferentes Condiciones de Almacenamiento sobre las Características Fisicoquímicas y Nutricionales del Frijol (*Phaseolus vulgaris*)*. Tesis (*Magister Scientifcae* en Ciencias de Alimentos y Nutrición Animal). Centro de Estudios Superiores en Nutrición y Ciencias de Alimentos (CESNA), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia/INCAP. Guatemala, C. A., noviembre de 1973, 90 p.
 15. Burr, H.K., S. Kon & J. Harris. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage. *Food Technol.*, **22**: 336-338, 1968.
 16. Morris, H. I. & E. R. Wood. Influence of moisture content on keeping quality of dry beans. *Food Technol.*, **10**: 225-229, 1956.
 17. Muneta, P. The cooking time of dry beans after extended storage. *Food Technol.*, **18**: 1240-1241, 1964.
 18. Kon, S. Pectic substances of dry beans and their possible correlation