

EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO A TEMPERATURA Y HUMEDAD ALTAS SOBRE ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL FRIJOL

Wilfredo Moscoso^{1, 2}

**Instituto Superior de Agricultura Santiago de los Caballeros,
República Dominicana**

INTRODUCCION

Los frijoles almacenados bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa sufren un incremento en el tiempo requerido para su ablandamiento apropiado durante el proceso de cocción. Los frijoles almacenados durante 10 meses a 25°C con una humedad relativa de 65% toman de 5 a 6 veces más del tiempo requerido para su ablandamiento (1). El problema es más evidente en las zonas tropicales donde existen condiciones normales de alta temperatura y alta humedad relativa.

Gloyer (2) identificó dos problemas como los causantes de la pérdida de la propiedad de ablandamiento de los frijoles:

a) Cáscara dura o impermeabilidad de la cáscara de los frijoles al agua. Los granos afectados por este problema sufren una rehidratación lenta, lo que afecta las propiedades de cocimiento y de germinación de las semillas.

b) Esclerema, que se considera como la impermeabilidad de los cotiledones al agua debido a cambios enzimáticos que ocurren

1 Miembro del Instituto Superior de Agricultura, Apartado 166, Santiago de los Caballeros, República Dominicana.

2 Los datos que aquí se dan a conocer fueron parcialmente tomados del Trabajo de Tesis sometido por el Dr. Moscoso a la Universidad de Cornell, Ithaca, N. Y., Estados Unidos, como requisito parcial para completar los requerimientos de Doctorado.

durante el almacenamiento. Como resultado, el frijol pierde su propiedad de ablandamiento, requiriendo más tiempo de cocción que los frijoles normales.

El trabajo que seguidamente se detalla, analiza los factores conocidos, tanto físicos como químicos, que inciden en el desarrollo de ambos problemas.

ABSORCION DE AGUA

De acuerdo a Gloyer (2) las propiedades de absorción de agua de los frijoles secos es afectada por factores de variedad, clima, de orden cultural y también de almacenamiento. Si los frijoles secos se almacenan en un cuarto caliente con una humedad relativa baja, ello induce el problema de cáscara dura o de impermeabilidad de la cáscara al agua. Crean y Haisman (3), por ejemplo, encontraron que la impermeabilidad de la cáscara al agua se puede inducir secando guisantes de cáscara uniforme hasta un contenido de humedad menor de 15^o/o. El cambio es reversible si almacenamos los guisantes que son impermeables en un ambiente de humedad relativa alta, o sea que éstos se vuelven permeables a medida que su contenido de humedad aumenta. El mismo autor notificó un efecto similar en otro estudio (4) realizado con diferentes variedades de frijoles.

La cáscara es la primera barrera a la penetración del agua y se espera que afecte la razón inicial de absorción de agua en los frijoles. Sefa-Dedeh y Stanley (5) informaron diferencias en el espesor de la cáscara, hilum y micrópilo de caupís (*Vigna sinensis*), las cuales determinan la razón de absorción de agua en diferentes variedades. De acuerdo a los datos resultantes, una cáscara fina, y un hilum y micrópilo grandes favorecen la rápida absorción de agua.

Hamad y Powers (6), Snyder (7) y Varriano-Marston y De Omana (8) dan cuenta de cierta relación entre el contenido de pectinas de la cáscara y la razón de absorción de agua de los frijoles secos.

Se ha tratado de correlacionar las propiedades de absorción de agua con la textura de frijoles cocidos. Así, Mejía (9) y Sefa-Dedeh, Stanley y Voisey (10) encontraron una relación negativa entre la absorción de agua de frijoles secos almacenados y sus propiedades de cocción. Sin embargo, Burr, Kon y Morris (11) y Molina *et al.* (12) encontraron que frijoles secos, los cuales absorbían agua tan rápidamente como frijoles frescos, mostraron pérdi-

das en sus propiedades de cocción. Recientemente, Jackson y Varriano-Marston (13) sugirieron que la pérdida en propiedades de cocción de los frijoles almacenados no depende de las propiedades de absorción de agua, debido a que frijoles frescos y envejecidos muestran curvas de cocimiento paralelas cuando se remojan a un mismo contenido de humedad antes del proceso de cocción.

En la Figura 1 se exponen los resultados de la determinación de la propiedad de absorción de agua en diferentes muestras de frijoles rojos después de tres meses de almacenamiento bajo condiciones diferentes de temperatura y contenido de humedad (14). El patrón de absorción se caracterizó por una toma de agua rápida durante las primeras 6 a 12 horas, cuando se llegó al punto de saturación. Se observa una relación entre el contenido inicial de humedad de los frijoles y las razones de absorción de agua durante la primera hora de remojo, así como con la cantidad máxima de agua absorbida después de 12 horas de remojo.

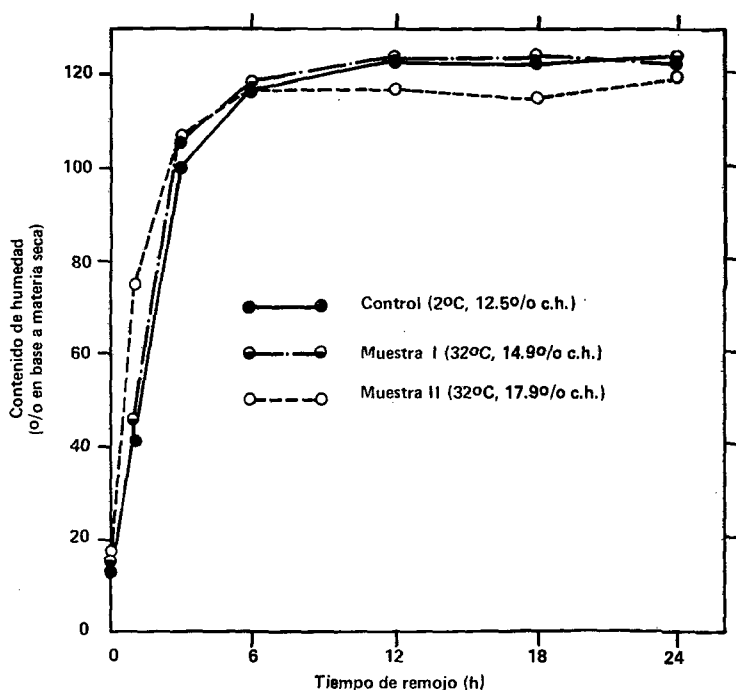


FIGURA 1

Absorción de agua en frijoles secos después de tres meses de almacenamiento

Por otro lado, los frijoles almacenados a 32°C, con un contenido de humedad de 14.90/o, acusaron un incremento consistente en la cantidad de agua absorbida durante la primera hora de remojo a través de nueve meses de almacenamiento (Figura 2). Ello sugiere que los cambios ocurridos durante el almacenamiento hacen la cáscara más permeable a la penetración de agua. No obstante, este punto requiere mayor investigación, debido a que los cambios no fueron tan consistentes en las muestras almacenadas a 32°C y con un contenido de humedad de 17.90/o (14).

Moscoso (14) también contró que la cantidad máxima de agua absorbida por los frijoles durante el remojo es afectada por el contenido inicial de agua y la temperatura de almacenamiento. Así, muestras almacenadas a 20°C tuvieron absorción de agua constante durante los nueve meses de estudio, mientras que las muestras almacenadas a 32°C mostraron un descenso gradual en la

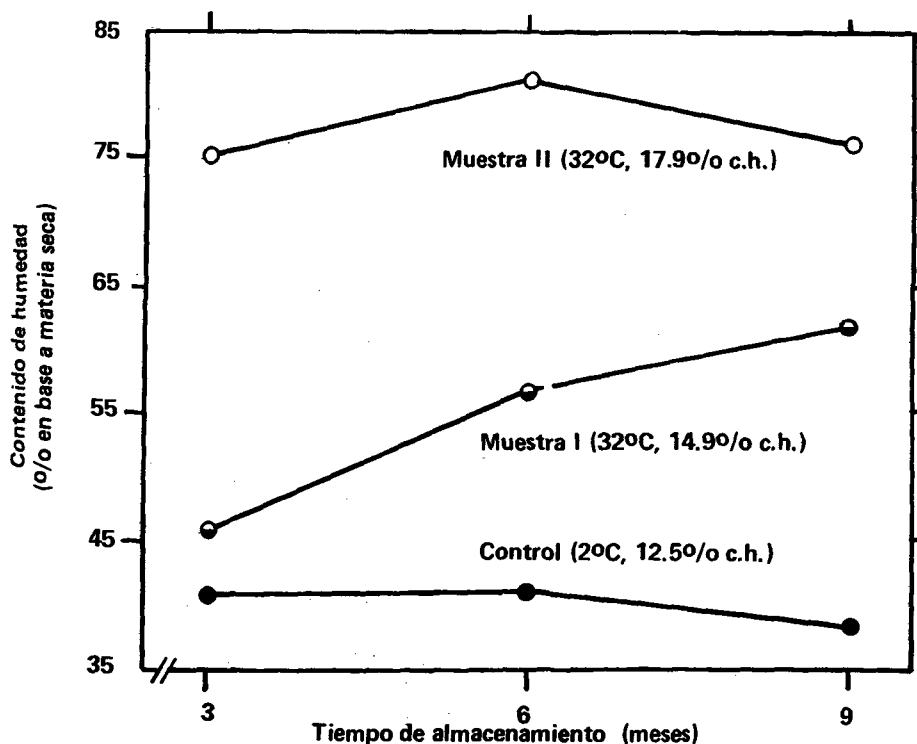


FIGURA 2

Absorción de agua en frijoles después de una hora de remojo

cantidad máxima de agua absorbida durante el mismo período (Figura 3).

PROPIEDADES DE COCCION

Una temperatura alta y una humedad relativa alta durante el almacenamiento se traducen en un incremento en el tiempo de cocción necesario para ablandar los frijoles; se observa además, amarronamiento de las semillas; rancidez de las grasas, y la aparición de sabores y olores indeseables (11, 15-18). A pesar de ello, Morris y Wood (16) informaron que los frijoles almacenados con un contenido de humedad menor del 10% mantuvieron su calidad durante dos años a 77°F, casi tan bien como una muestra control almacenada a -10°F.

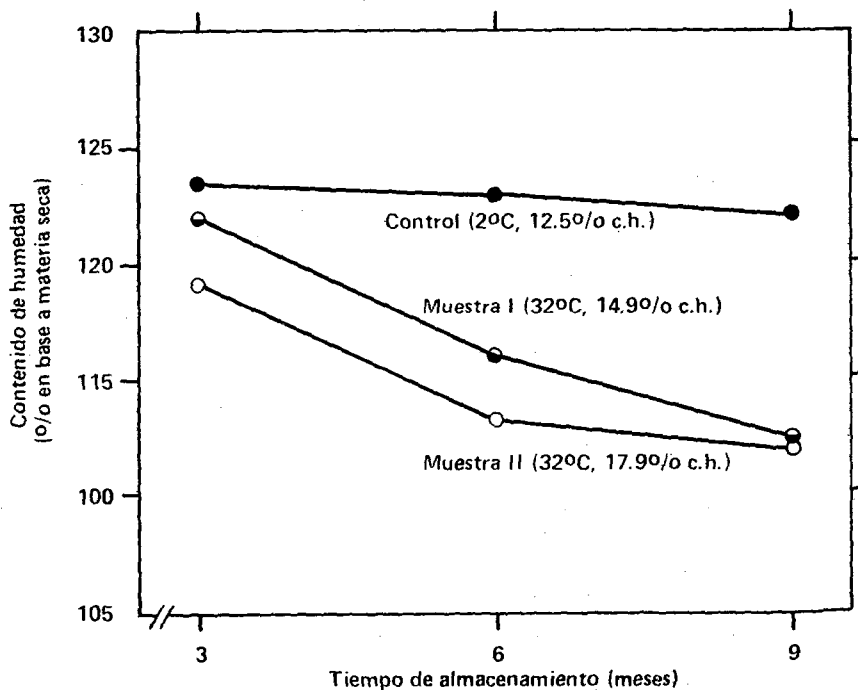


FIGURA 3

Absorción de agua en frijoles después de 24 horas de remojo

La pérdida en la propiedad de cocción de los frijoles se atribuye a cambios enzimáticos o químicos que ocurren durante el almacenamiento. Mattson (19) notificó que si los guisantes se remojan en agua durante ocho días, éstos pierden totalmente la propiedad de ablandarse durante el cocimiento. Sin embargo, si los guisantes son hervidos por 10 minutos luego de remojarlos en agua durante cuatro horas, el remojo no tendrá ningún efecto y los guisantes se ablandarán tan bien como en su condición original, siempre y cuando no haya filtración de solutos. Mattson *et al.* (20) atribuyeron un incremento en el fosfato inorgánico en guisantes almacenados por 12 meses a 20°C y un contenido de humedad variable, al rompimiento hidrolítico del ácido fítico por la enzima fitasa. Un tratamiento térmico corto antes del almacenamiento evitó que frijoles negros se convirtieran en difíciles de cocinar (12) y fue efectivo en prevenir una reducción en el contenido de taninos de los frijoles durante el almacenamiento (9). Por otra parte, Harman y Mattick (21) notificaron una reducción en el contenido de ácidos linoleico y linolénico en guisantes envejecidos durante 10 semanas a 30°C y a una humedad relativa de 92%.

Sefa-Dedeh, Stanley y Voisey (18) sugirieron que al proceso de ablandamiento durante el cocimiento de caupís frescos seguían reacciones cinéticas de primer orden, pero aquéllos almacenados a temperaturas altas no siguieron el mismo patrón. Huang y Bourne (22) encontraron que las causas del ablandamiento en guisantes verdes enlatados y en frijoles secos durante el proceso de retorta, eran consistentes con dos mecanismos cinéticos simultáneos de primer orden: mecanismo 1, que actúa sobre el sustrato "a" que se consideraba eran las sustancias pécticas en la lamela media, y el mecanismo 2 que actúa sobre el sustrato "b" de composición química desconocida. Las razones constantes para el mecanismo 1 fueron 20 a 30 veces mayores que las razones constantes para el mecanismo 2.

Graficando en papel logarítmico las fuerzas de penetración promedio obtenidas en frijoles cocidos, los cuales habían sido almacenados por 3, 6 y 9 meses bajo condiciones diferentes de temperatura y contenido de humedad, éstas se tradujeron en líneas rectas indicativas de que el proceso de ablandamiento sigue una reacción cinética de primer orden (Figuras 4 a 6). La Tabla 1 muestra las razones aparentes de ablandamiento calculadas a partir de las inclinaciones de las líneas y sus respectivos coeficientes de correlación, los cuales fueron mejores de -0.96 (14).

De acuerdo a los datos presentados por Moscoso (14), es evi-

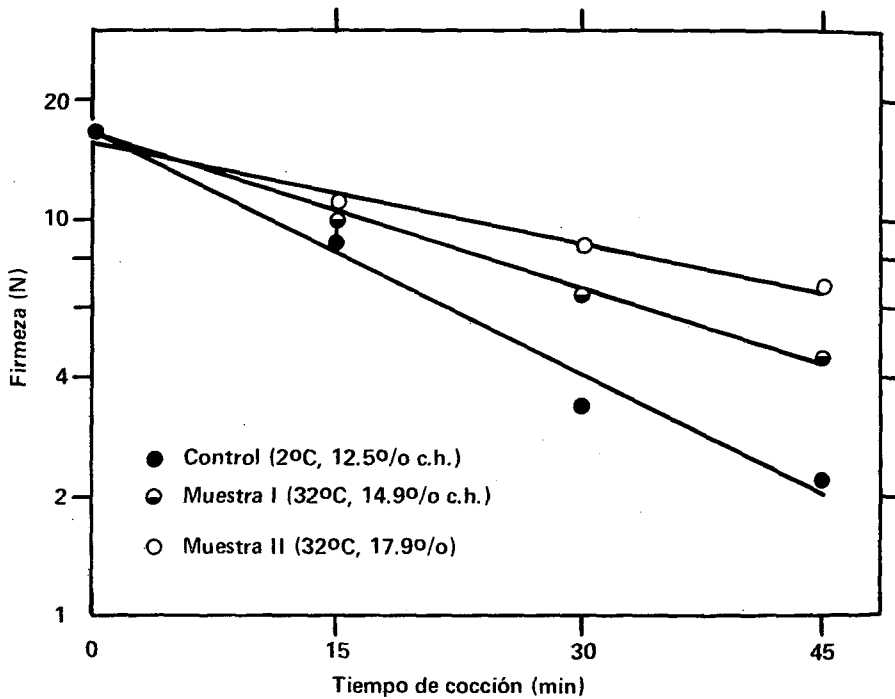


FIGURA 4

Ablandamiento de los frijoles almacenados durante tres meses

dente un descenso en las razones de ablandamiento en ambas muestras almacenadas a 32°C. Los frijoles almacenados con un contenido de humedad de 17.9% mostraron mayor descenso que los almacenados con un contenido de humedad de 14.9%. Se observa que los frijoles almacenados a 32°C, con un contenido de humedad de 17.9%, tuvieron razones de cocción similares a seis y nueve meses de almacenamiento. Aparentemente, los frijoles alcanzaron una razón de ablandamiento mínima luego de ser almacenadas durante seis meses. Los frijoles almacenados con un contenido de humedad de 14.9% acusaron una razón de ablandamiento intermedia, la cual disminuyó progresivamente durante el período de almacenamiento. Los resultados concuerdan con informes previos de que la temperatura y humedad relativa altas durante el

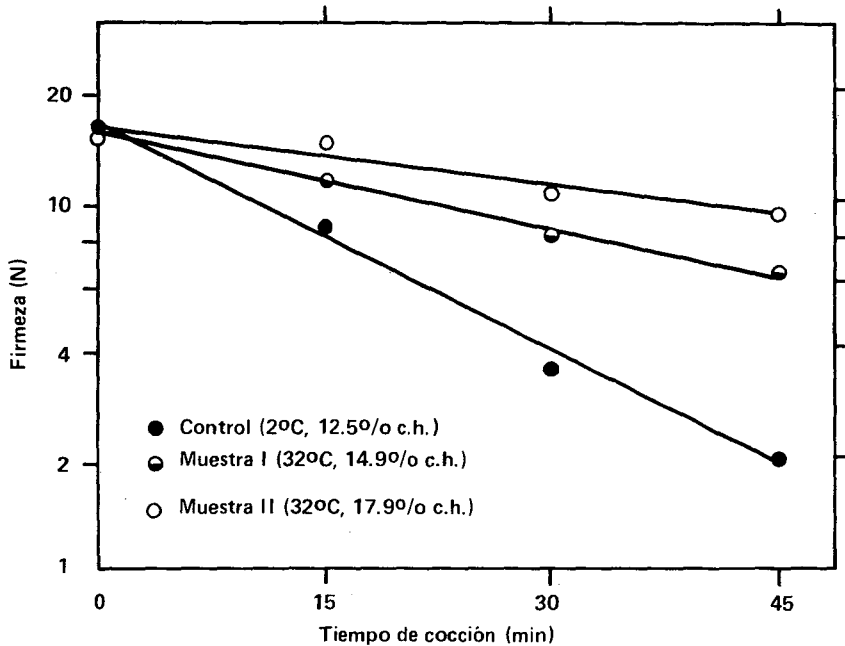


FIGURA 5

Ablandamiento de los frijoles almacenados durante seis meses

almacenamiento causan un incremento en el tiempo requerido para ablandar los frijoles secos (1, 11, 20).

Las razones constantes de ablandamiento revelaron una alta correlación negativa ($r = -0.91$) con el contenido de humedad de los frijoles remojados durante una hora. Una relación inversa se observó luego de remojarlos por 24 horas, siendo el coeficiente de correlación de 0.88 (14). Debido a que Jackson y Varriano-Marston (13) mostraron que la pérdida en la propiedad de cocimiento de los frijoles almacenados no depende de las propiedades de absorción de agua, puede asumirse que mecanismos similares son los responsables de cambiar las propiedades de absorción de agua y las razones de ablandamiento durante la cocción de los frijoles almacenados.

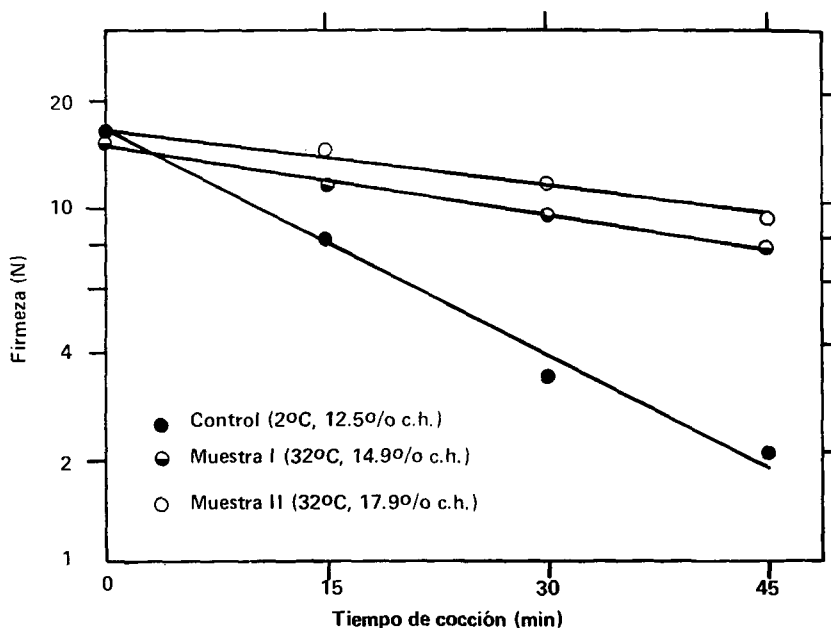


FIGURA 6

Ablandamiento de los frijoles almacenados durante nueve meses

SUBSTANCIAS PEPTICAS

Kon (23) sugirió que el ablandamiento de las leguminosas durante la cocción implica un intercambio de calcio presente en el pectato de calcio insoluble de las leguminosas, con el sodio y el potasio presentes en el fitato de sodio y potasio soluble. Estudios de la estructura celular en cotiledones de las habas, realizados con el microscopio electrónico, revelan una disolución gradual de la lamela media durante la cocción. Cuando el tejido está completamente cocido la lamela media aparece completamente disuelta, observándose una separación de las células (24). Sefa-Dedeh, Stanley y Voisey (18) detectaron poco rompimiento en la lamela media de caupís, los cuales fueron almacenados por 12 meses a

TABLA 1

RAZONES CONSTANTES DE ABLANDAMIENTO APARENTE Y SUS COEFICIENTES DE CORRELACION PARA FRIJOLES ALMACENADOS*

Tiempo de almacenamiento (meses)	Control (20°C, 12.5% o c.h.)		Muestra I (32°C, 14.5% o c.h.)		Muestra II (32°C, 17.9% o c.h.)	
	Razón constante (min ⁻¹)	Coefficiente de correlación	Razón constante (min ⁻¹)	Coefficiente de correlación	Razón constante (min ⁻¹)	Coefficiente de correlación
3	0.0203	-0.99	0.0128	-1.00	0.0084	-0.99
6	0.0210	-1.00	0.0091	-1.00	0.0055	-1.00
9	0.0211	-0.99	0.0068	-1.00	0.0055	-0.98

* Correlación del tiempo de cocción con el logaritmo de la firmeza de los frijoles.

29°C y a una humedad relativa de 80% o, aún después de 90 minutos de cocimiento a 100°C. Este hallazgo implica que los frijoles de fácil y difícil cocimiento difieren en la razón relativa a la cual la lamela media se rompe.

Cuando se cuecen los materiales vegetales, las protopectinas son parcialmente hidrolizadas a pectinas solubles en agua en proporción directa con la severidad del proceso de cocción (25). Las pectinas son consideradas como las sustancias cemento que mantienen las células vegetales juntas; por este motivo, una medida de las sustancias pécticas insolubles en agua proporcionará información respecto a la fortaleza de ligación que mantiene las partes celulares juntas.

Se ha sugerido que el proceso de ablandamiento de los frijoles secos depende de la razón de disolución de la lamela media (18, 24). La razón de rompimiento de la protopectina durante el proceso de cocimiento puede ser estimada siguiendo los cambios que se suscitan en el contenido de sustancias pécticas insolubles en función del tiempo de cocción de los tejidos.

Una gráfica del logaritmo del contenido de las sustancias pécticas insolubles en la cáscara y cotiledones, versus el tiempo de cocción, sugiere que la disolución de las sustancias pécticas durante la cocción sigue reacciones cinéticas de primer orden (14). Las razones constantes aparentes calculadas a partir de las inclinaciones de las líneas se presentan en las Tablas 2 y 3 para las cáscaras y cotiledones, respectivamente. A pesar de que los resultados no fueron tan consistentes como aquéllos de las razones de ablandamiento, se observa una aproximación muy buena a los datos experimentales como lo indican los coeficientes de correlación que —en todos los casos— fueron mayores de -0.80 , y muchas veces mayores de -0.94 .

Las razones constantes de ablandamiento mostraron una alta correlación con las razones constantes de la disolución de las sustancias pécticas en la cáscara y cotiledones (Figuras 7 y 8). Los datos indican que las razones constantes rápidas de ablandamiento, corresponden a las razones constantes rápidas de disolución de las sustancias pécticas durante la cocción (14).

Jackson y Varriano-Marston (13) y Morris (1), ya citados, informaron que la cáscara de frijoles frescos contribuía en mayor medida a las propiedades de cocción de los frijoles secos, mientras que los cotiledones jugaban un papel más predominante en la propiedad de cocción de los frijoles envejecidos. Los datos consignados en las Tablas 2 y 3 sustentan estas observaciones, debido a que

TABLA 2

RAZONES CONSTANTES APARENTES DE LA DISOLUCION DE LAS SUBSTANCIAS PECTICAS EN LA CASCARA Y SUS COEFICIENTES DE CORRELACION*

Tiempo de almacenamiento (meses)	Control (20°C, 12.5°/o c.h.)		Muestra I (32°C, 14.9°/o c.h.)		Muestra II (32°C, 17.9°/o c.h.)	
	Razón constante (10 ⁻³ x min ⁻¹)	Coefficiente de correlación	Razón constante (10 ⁻³ x min ⁻¹)	Coefficiente de correlación	Razón constante (10 ⁻³ x min ⁻¹)	Coefficiente de correlación
3	1.07	-0.86	0.73	-0.91	0.60	-0.95
6	0.89	-0.99	0.50	-0.92	0.44	-0.95
9	0.94	-0.94	0.48	-0.95	0.36	-0.97

* Correlación del tiempo de cocimiento con el logaritmo del contenido de sustancias pécticas insolubles en agua.

TABLA 3

RAZONES CONSTANTES APARENTES DE LA DISOLUCIÓN DE LAS SUBSTANCIAS PECTICAS
EN EL COTILEDON Y SUS COEFICIENTES DE CORRELACION*

Tiempo de almacenamiento (meses)	Control (20°C, 12.5°/o c.h.)		Muestra I (32°C, 14.9°/o c.h.)		Muestra II (32°C, 17.9°/o c.h.)	
	Razón constante (10 ⁻³ x min ⁻¹)	Coefficiente de correlación	Razón constante (10 ⁻³ x min ⁻¹)	Coefficiente de correlación	Razón constante (10 ⁻³ x min ⁻¹)	Coefficiente de correlación
3	1.19	-0.99	0.51	-0.99	0.28	-0.94
6	0.85	-0.95	0.26	-0.93	0.11	-0.87
9	1.10	-0.95	0.28	-0.96	0.05	-0.80

* Correlación del tiempo de cocimiento con el logaritmo del contenido de sustancias pécticas insolubles en agua.

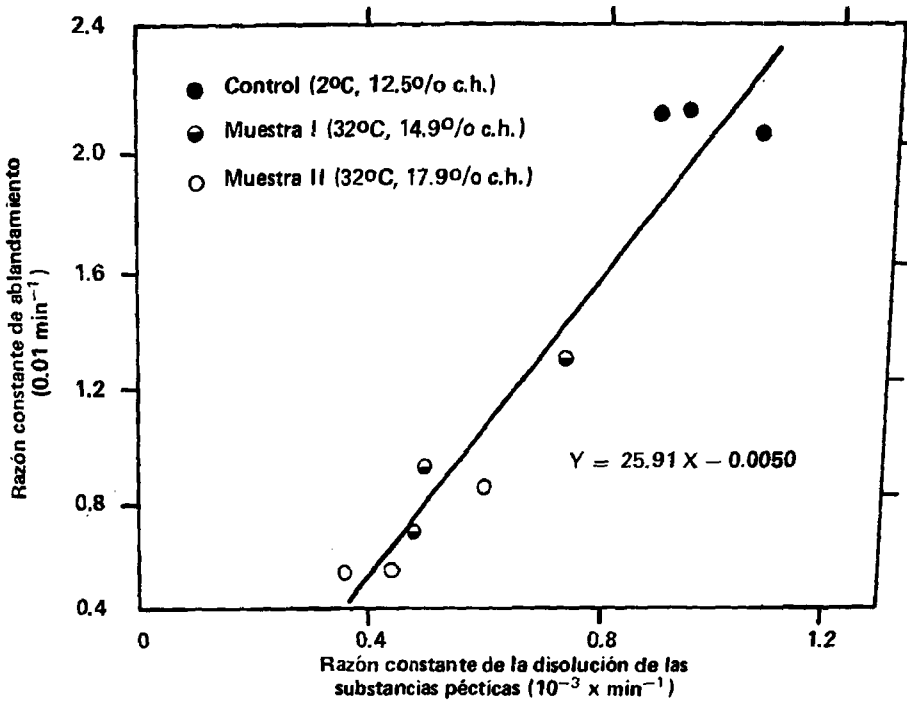


FIGURA 7

Relación entre la razón constante de ablandamiento y la razón constante de disolución de las sustancias pécticas en la cáscara

las razones constantes de la disolución de las sustancias pécticas, tanto en la cáscara como en los cotiledones de los frijoles frescos y envejecidos, mostraron diferencias relacionadas con las propiedades de cocción de los mismos. El promedio de las razones constantes de la disolución de las sustancias pécticas fue relativamente más alta en los cotiledones que en la cáscara de los frijoles almacenados a 20°C. Los valores correspondientes son 1.05 y 0.97 para los cotiledones y cáscaras, respectivamente. El efecto opuesto fue observado en la cáscara y cotiledones de las muestras almacenadas a 32°C, con un contenido de humedad alto, donde las razones de disolución de las sustancias pécticas en la cáscara fueron más altas que en los cotiledones.

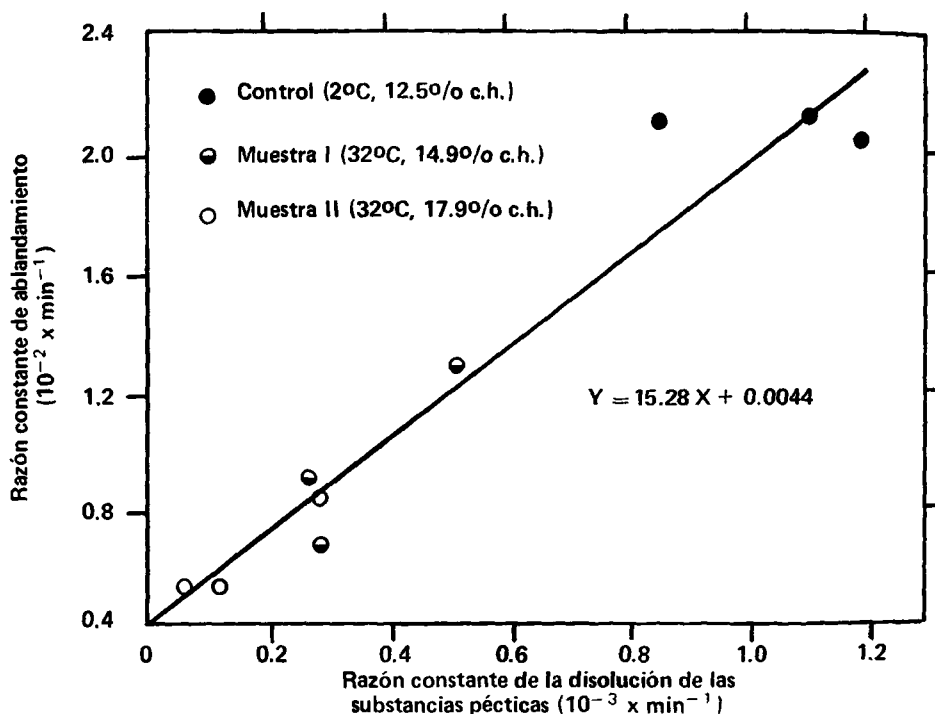


FIGURA 8

Relación entre la razón constante de ablandamiento y la razón constante de disolución de las sustancias pécticas

ACIDO FITICO

De acuerdo a Mattson *et al.* (20), el deterioro que ocurre en la calidad de cocción de los guisantes secos durante su almacenamiento, se debe al rompimiento hidrolítico del fitato por la enzima fitasa, lo que resulta en la formación de fosfato inorgánico, el cual no actúa como un precipitante de calcio y magnesio al pH de los guisantes. Haisman (26) informó que el remojo por 18 horas a 20°C, de guisantes almacenados a 37°C, a una humedad relativa de 75% durante 12 meses, se tradujo en una pérdida considerable de ácido fítico: además, los guisantes eran de difícil cocimiento. Por otra parte, aquéllos de fácil cocción no experimentaron grandes pérdidas de ácido fítico durante el remojo. Se observaron pér-

didadas adicionales durante el proceso de cocción para ambas muestras, pero los guisantes de fácil cocción retuvieron cantidades relativamente mayores de ácido fítico. Por otra parte, frijoles rojos almacenados bajo condiciones diferentes de temperatura y contenido de humedad acusaron diferencias en su contenido de fósforo del ácido fítico, luego de ser remojados durante 18 horas a 25°C (Figura 9). Los frijoles almacenados a 2°C no mostraron cambios significativos (al nivel del 5% de probabilidad) en su contenido

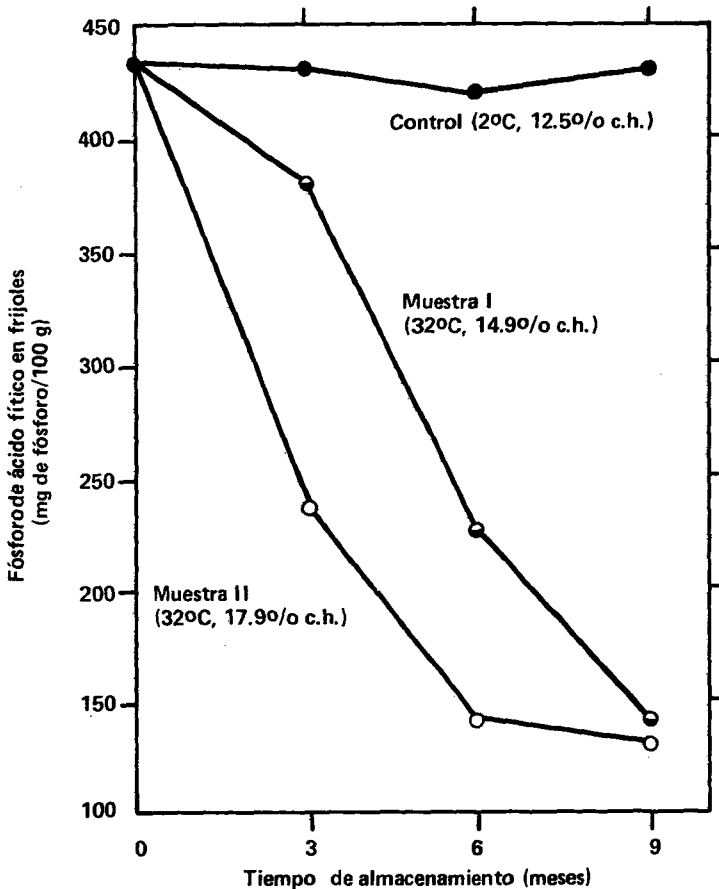


FIGURA 9

Fósforo de ácido fítico en frijoles rojos remojados

de ácido fítico durante el almacenamiento. No obstante, los almacenados a 32°C, con un contenido alto de humedad, mostraron un descenso consistente en su contenido de ácido fítico, siendo las muestras almacenadas con un contenido de humedad de 17.90/o o las que acusaron la mayor reducción (14).

De acuerdo a los datos presentados por Moscoso (14), un contenido de fósforo de ácido fítico de los frijoles remojados tiene una alta correlación con la razón de ablandamiento de los frijoles ($r = 0.96$), con la razón constante para la disolución de las sustancias pécticas en las cáscaras ($r = 0.95$) y con los cotiledones ($r = 0.92$). Ello implica que un alto contenido de fósforo de ácido fítico en los frijoles favorece una razón rápida del ablandamiento y disolución de las sustancias pécticas, haciendo los frijoles de más fácil cocción. Este punto se ilustra mejor trazando una gráfica de la firmeza de los frijoles luego de la cocción por 45 minutos versus el contenido de fósforo de ácido fítico en los frijoles remojados (Figura 10). Según se aprecia, la correlación negativa ($r = -0.97$) es alta, lo que indica que mientras más alto sea el contenido de fósforo del ácido fítico de los frijoles, menor será la firmeza después de la cocción.

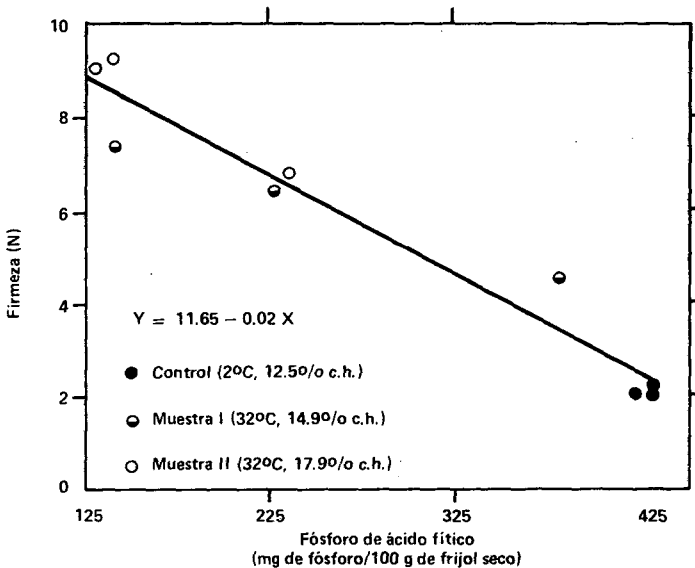


FIGURA 10

Relación entre el fósforo del ácido fítico en frijoles remojados y la firmeza de los frijoles después de 45 min de cocción

MINERALES

De acuerdo a Mattson *et al.* (20), los guisantes son más fáciles de ablandar a medida que aumenta la razón de cationes monovalentes a divalentes. A un contenido dado de ácido fítico, los cationes afectan la propiedad de cocción en el orden de $K > Mg > Ca$. Los frijoles secos son muy susceptibles a los iones de calcio y magnesio presentes en el agua de remojo o de cocción, lo que da como resultado una pérdida en la propiedad de cocción (6, 27). Hasta el calcio y el magnesio endógenos afectan adversamente la propiedad de cocción (19, 28). Por otra parte, los cationes monovalentes como el sodio y el potasio tienden a hacer los frijoles de más fácil cocción (7, 17, 20).

La cantidad de minerales perdidos durante el remojo aumenta a medida que los frijoles envejecen. Haisman (26) notificó que guisantes de difícil cocimiento, los cuales habían sido almacenados a 37°C y a una humedad relativa de 75% durante 12 meses, perdieron más potasio y magnesio que los guisantes de fácil cocción; además, ocurrieron pérdidas adicionales durante el proceso de cocción. Harman y Granett (29) señalan un incremento en la filtración de potasio y magnesio, así como un incremento en la conductividad eléctrica del agua de remojo de guisantes envejecidos, el cual se asoció a extenso daño en la membrana del plasmalema. Por su cuenta, Jackson y Varriano-Marston (13) también observaron un incremento en la razón de filtración de electrolitos durante el remojo de frijoles negros envejecidos, el cual fue atribuido al deterioro de los cotiledones durante el envejecimiento.

La Figura 11 muestra el efecto del tiempo de cocción en el contenido de calcio de la cáscara de frijoles almacenados durante tres meses (14). Los resultados indican que un contenido alto de calcio está relacionado con mayor firmeza, más sustancias pécticas totales y más sustancias pécticas insolubles en agua. El cocinar los frijoles por 45 minutos ocasionó una reducción de 38 a 48% en el contenido de calcio de la cáscara en los frijoles almacenados a 2°C, mientras que los frijoles de difícil cocimiento experimentaron pérdidas menores de 16%.

El efecto del cocimiento en el contenido de magnesio siguió un patrón similar al de calcio (Figura 12). La cáscara en los frijoles almacenados a 2°C perdió cerca del 29% del contenido de magnesio después de cocidos por 45 minutos, mientras que los frijoles de difícil cocimiento experimentaron una reducción menor de 11% en su contenido de magnesio. Parece ser que un conte-

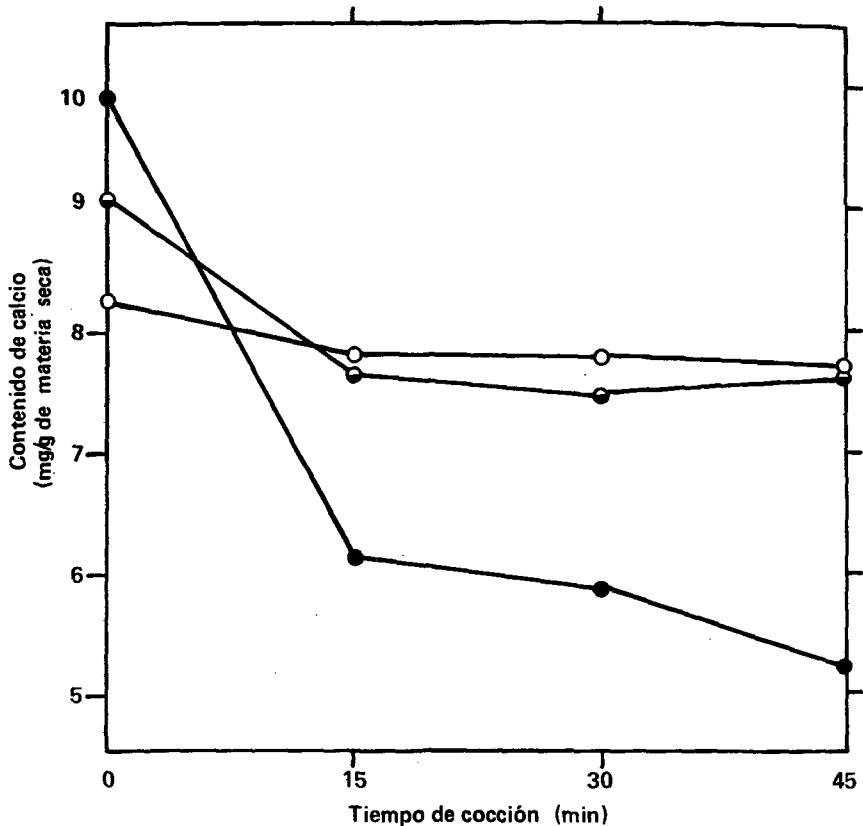


FIGURA 11

Efecto de la cocción en el contenido de calcio de la cáscara de frijoles almacenados durante tres meses. ●, control (20°C, 12.5% c.h.); ○, muestra I (32°C, 14.9% c.h.); muestra II, (32°C, 17.9% c.h.)

nido alto de magnesio en la cáscara está asociado con un alto grado de firmeza de los frijoles, sustancias pécticas totales y sustancias pécticas insolubles en agua (14).

El contenido de potasio de la cáscara no acusó buena correlación con la firmeza de los frijoles ni con el contenido de sustancias pécticas totales y sustancias pécticas insolubles en agua. La cáscara de los frijoles almacenados a 20°C mostró un contenido bajo de potasio luego de someterse a remojo durante 18 horas a una temperatura de 25°C (Figura 13). Luego de la cocción por 15

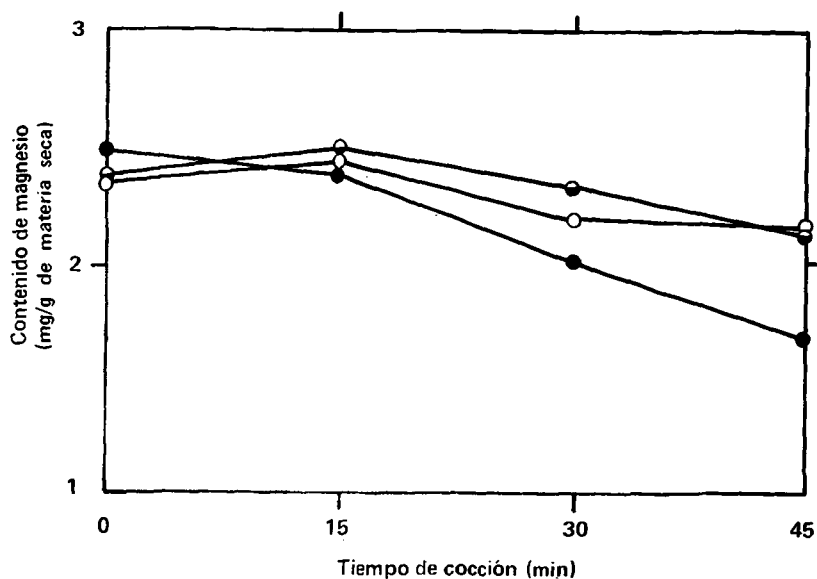


FIGURA 12

Efecto de la cocción en el contenido de magnesio de la cascara de frijoles almacenados durante tres meses. ●, control (2°C, 12.5% c.h.); ◻, muestra I (32°C, 14.9% c.h.); ○, muestra II (32°C, 17.9% c.h.)

minutos, se observó un incremento que más que duplicó el contenido de potasio, traduciéndose en valores comparables al de los frijoles almacenados a 32°C y un contenido de humedad alto (14).

La cocción de los frijoles por 45 minutos tuvo como resultado una ligera reducción en el contenido de potasio de la cáscara de los granos almacenados a 32°C, con un alto contenido de humedad. En vista de que la cáscara de los frijoles almacenados a 2°C reveló una ganancia considerable de potasio durante los primeros 15 minutos de cocimiento, el resultado fue un incremento del contenido de potasio. Sin embargo, la cocción adicional resultó en mayores reducciones de iones de potasio en la cáscara de los frijoles almacenados a 2°C, en contraste con las pérdidas observadas en aquéllos de difícil cocción.

Estudios realizados por Moscoso (14) indican que las razones de cationes monovalentes a divalentes en los cotiledones guardan una correlación positiva con las razones constantes de ablanda-

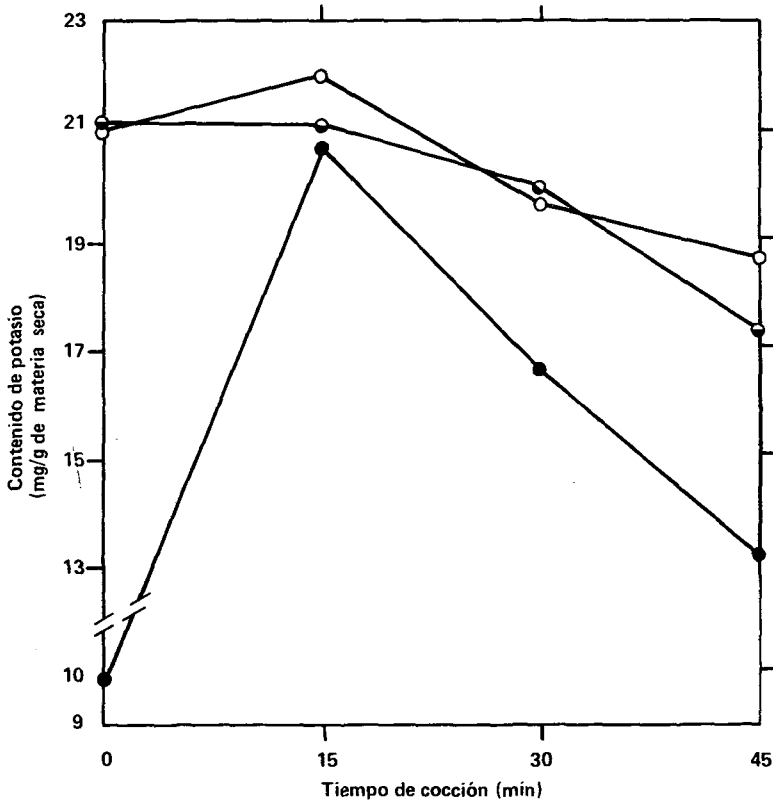


FIGURA 13

Efecto de la cocción en el contenido de potasio de la cáscara de frijoles almacenados durante tres meses. ●, control (2°C, 12.5% o.c.h.); ◻, muestra I (32°C, 14.9% o.c.h.); ○, muestra II (32°C, 17.9% o.c.h.)

miento ($r = 0.93$) y las razones constantes para la disolución de las sustancias pécticas en los cotiledones ($r = 0.90$). Este hallazgo sugiere que una razón alta de cationes monovalentes a divalentes en los cotiledones, hace los frijoles de más fácil cocimiento (Figura 14).

Se observó una inconsistencia aparente en las razones de cationes monovalentes a divalentes en la cáscara, donde una razón baja parece estar relacionada con una mejor propiedad de cocción. Sin embargo, luego de un remojo de 18 horas a 25°C, el contenido

de potasio de la cáscara de los frijoles almacenados a 20°C, estaba entre el intervalo de 8.14 y 9.94 mg/g de materia seca. La cocción de los frijoles por 15 minutos incrementó el contenido de potasio al intervalo de 20.72 a 21.35 mg/g de materia seca. La razón promedio de cationes monovalentes a divalentes para la cáscara de los frijoles almacenados a 20°C fue de 2.5, después de cocinarlos durante 15 minutos. Las razones promedio de cationes monovalentes a divalentes fueron de 2.1 y 1.5 para los frijoles almacenados a 32°C, y un contenido de humedad de 14.90/o y 17.90/o, respectivamente. Los análisis de los datos a este punto indican una correlación positiva entre las propiedades de cocimiento de los frijoles y las razones de cationes monovalentes a divalentes.

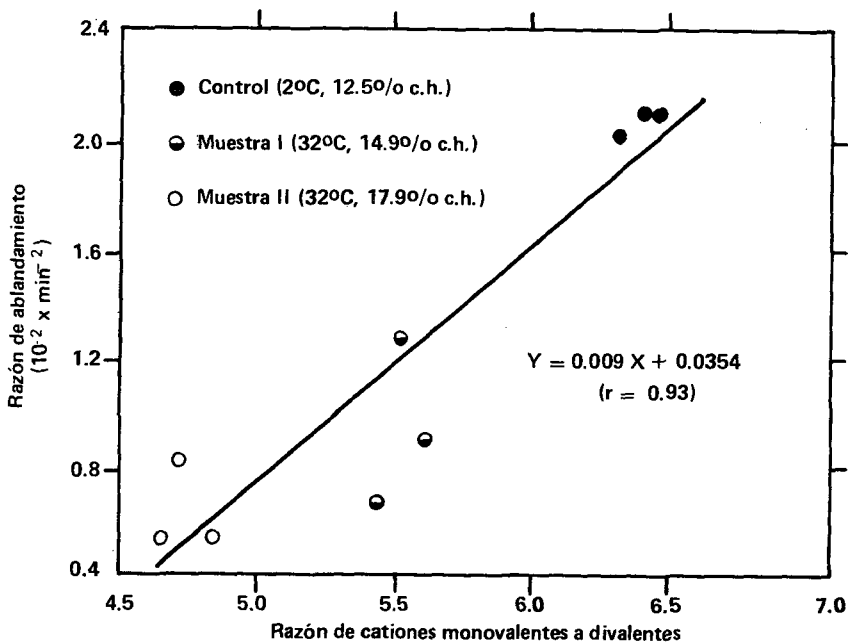


FIGURA 14

Relación entre la razón de ablandamiento y la razón de cationes monovalentes a divalentes en cotiledones sometidos a remojo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La propiedad de absorción de agua de los frijoles secos, además de estar determinada por factores de variedad, clima y prácticas culturales, es afectada también por el contenido de humedad de los granos. Los estudios indican que el problema de dureza de la cáscara es más evidente en frijoles cuyo contenido de humedad es menor de 150/o.

2. El almacenamiento bajo condiciones de temperatura y contenido de humedad elevados, hace la cáscara más permeable a la penetración del agua. Se requieren mayores investigaciones para determinar si éste está relacionado con la depolimerización de polisacáridos (substancias pécticas) en las paredes celulares de la cáscara.

3. El proceso de ablandamiento de los frijoles durante la cocción sigue el patrón de reacciones cinéticas de primer orden. El almacenamiento bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa, resulta en una reducción de las razones constantes de ablandamiento.

4. La disolución de las substancias pécticas durante la cocción de los frijoles sigue el patrón de reacciones cinéticas de primer orden. Existen altas correlaciones entre las razones constantes de disolución de las substancias pécticas, y las razones constantes de ablandamiento.

5. Se observa cierta reducción en el contenido de ácido fítico de los frijoles almacenados bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa. Ello se debe tanto al rompimiento hidrolítico del ácido fítico por la enzima fitasa, como a la filtración del mismo durante el proceso de remojo o cocimiento de los granos.

6. Los frijoles almacenados bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa sufren mayores pérdidas de solutos de bajo peso molecular durante el proceso de remojo. La evidencia parece indicar que los factores responsables son los daños que sufren las membranas del plasmalema.

7. Las razones constantes de ablandamiento y disolución de las substancias pécticas muestran alta correlación con las razones de cationes monovalentes a divalentes. Estos últimos sufren una disminución en los frijoles almacenados bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa.

8. Los datos sugieren que los frijoles almacenados bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa pierden su propiedad de fácil cocimiento debido a una disminución en contenido de

ácido fítico y las razones de cationes divalentes a monovalentes. El resultado es que los frijoles pierden su capacidad de fijación de cationes divalentes y su propiedad de intercambio iónico durante la fase de cocción.

BIBLIOGRAFIA

1. Morris, H. J. Cooking qualities of dry beans. En: **Proceedings, Sixth Annual Dry Beans Conference, Los Angeles, California, 1963**. Albany, California, Western Regional Research Laboratory, US Department of Agriculture, 1963, p. 11-23.
2. Gloyer, W. O. Sclerema and hardshell, two types of hardness of the bean. **Proc. Am. Assoc. Official Seed Analysts**, **13**: 60, 1921.
3. Crean, D. E. C. & D. R. Haisman. A note on the slow rehydration of some dried peas. **Hort. Res.**, **2**: 121-125, 1963.
4. Gloyer, W. O. Two new varieties of red kidney beans. New York State Agricultural Experiment-Station, Technical Bull, 145. Geneva, N. Y., 1928.
5. Sefa-Dedeh, S. & D. W. Stanley. The relationship of microstructure of cowpeas to water absorption and dehulling properties. **Cereal Chem.**, **56**: 379-386, 1979.
6. Hamad, N. & J. J. Powers. Imbibition and pectic content of canned dry-lima beans. **Food Technol.**, **19**: 216-220, 1965.
7. Snyder, E. B. Some factors affecting the cooking quality of the pea and Great Northern types of dry beans. Univ. Nebraska Agr. Exper. Station Research Bulletin 85, 1936.
8. Varriano-Marston, E. & E. De Omana. Effects of sodium salt solutions on the chemical composition and morphology of black beans (*Phaseolus vulgaris*). **J. Food Sci.**, **44**: 531-536, 1979.
9. Mejía, E. G. **Effect of Various Conditions of Storage on General Aspects of Bean Hardening**. Final Report of UNU Fellow. Guatemala City, Guatemala, C. A., Institute of Nutrition of Central America and Panama (INCAP), 1979.
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. Burr, H. K., S. Kon & H. J. Morris. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage. **Food Technol.**, **22**: 336-338, 1968.
12. Molina, M. R., M. A. Baten, R. A. Gómez-Brenes, K. W. King & R. Bressani. 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, 1976.
13. Jackson, J. M. & E. Varriano-Marston. Hard-to-cook phenomenon in beans. 1. Effect of accelerated storage on water absorption and cooking time. **J. Food Sci.**, 46: 799-803, 1981.
 14. Moscoso, W. **Relationships between the Hard-to-Cook Phenomenon in Red Kidney Beans, and Water Absorption, Puncture Force, Pectin, Phytic Acid and Minerals.** Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y., 1981.
 15. Hughes, P. A. & R. F. Sandsted. Effect of temperature, relative humidity, and light on the color of California light red kidney bean seed during storage. **Hort. Sci.**, 10: 421-423, 1975.
 16. Morris, H. J. & E. R. Wood. Influence of moisture content on keeping quality of dry beans. **Food Technol.**, 10: 225-229, 1956.
 17. Rockland, L. B. & E. A. Metzler. Quick-cooking lima and other dry beans. **Food Technol.**, 21: 344-348, 1967.
 18. Sefa-Dedeh, S., D. W. Stanley & P. W. Voisey. Effect of storage time and conditions on the hard-to-cook defect in cowpeas (*Vigna unguiculata*). **J. Food Sci.**, 44: 790-796, 1979.
 19. Mattson, S. The cookability of yellow peas. **Acta Agr. Suec.**, 2: 185-231, 1946.
 20. Mattson, S. E., E. Akeberg, E. Ericksson, E. Koutter-Anderson & K. Vahtras. Factors determining the composition and cookability of peas. **Acta Agr. Scand.**, 1: 40-61, 1950.
 21. Harman, G. E. & L. R. Mattick. Association of lipid oxidation with seed ageing and death. **Nature**, 260: 323-324, 1976.
 22. Huang, Y. T. & M. C. Bourne. Kinetics of thermal softening of vegetables. Presentado en: **40th Annual Institute of Food Technologists Meeting, New Orleans, La., June, 1980.**
 23. Kon, S. Effect of soaking temperature on cooking and nutritional quality of beans. **J. Food Sci.**, 44: 1329, 1980.
 24. Rockland, L. B. & F. T. Jones. Scanning electron microscope studies on dry beans: effects of cooking on the cellular structure of cotyledons in rehydrated large lima beans. **J. Food Sci.**, 39: 342-346, 1974.
 25. Doesburg, J. J. Pectic substances in fresh and preserved fruits and vegetables. Wageningen, The Netherlands, Institute for Research on Storage and Processing of Horticultural Produce, 1963 (I.B.V.T. Communication No. 25).
 26. Haisman, D. R. Factors controlling the texture of peas. En: **Proceedings 1st International Congress on Food Science and Technology.** London, England, 1962, Vol. 1, p. 711-718.
 27. Crean, D. E. C. & D. R. Haisman. The interaction between phytic acid

- and divalent cations during the cooking of dried peas. **J. Sci. Food Agr.**, **14**: 824-833, 1963.
28. Quenzer, N. M., V. L. Huffman & G. E. Burns. Some factors affecting pinto bean quality. **J. Food Sci.**, **43**: 1059-1061, 1978.
29. Harman, G. E. & A. L. Granett. Deterioration of stored pea seed: changes in germination, membrane permeability and ultrastructure resulting from infection by *Aspergillus ruber* and from aging. **Physiol. Plant. Pathol.**, **2**: 271-278, 1972.