

## PREVENCIÓN DEL ENDURECIMIENTO DEL FRIJOL Y APROVECHAMIENTO DEL GRANO ENDURECIDO

*Mario R. Molina,<sup>1</sup> María Eugenia Rizo,<sup>2</sup> Marco A. Baten<sup>3</sup> y  
Ricardo Bressani<sup>4</sup>*

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP),  
Guatemala, Guatemala, C. A.

### INTRODUCCION

El frijol común (*Phaseolus vulgaris*) constituye un alimento tradicional en la dieta de varios países tropicales y subtropicales. En dichos países, estos granos aportan cantidades significativas de proteínas y calorías, tanto a la población rural como a la urbana (1). Por consiguiente, los esfuerzos multidisciplinarios (agrícolas,

- 
- 1 Jefe del Programa de Tecnología de Alimentos, División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Apartado 1188, Guatemala, Guatemala, C. A.
  - 2 Estudiante del Curso de Postgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos del Centro de Estudios Superiores en Nutrición y Ciencias de Alimentos, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia/INCAP, División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto.
  - 3 Técnico de Laboratorio asignado al Programa de Tecnología de Alimentos de la misma División.
  - 4 Jefe de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP, ya citada.

tecnológico-alimentarios y nutricionales) tendientes a incrementar la disponibilidad de este grano básico en la alimentación de regiones como la centroamericana, son de gran relevancia.

El almacenamiento del grano de frijol se traduce en cambios de las características físicas (dureza y tiempo de cocción, primordialmente), composición química y calidad proteínica de la semilla (2, 3). La magnitud de dichos cambios está vinculada, en su mayor parte, a las condiciones de almacenaje utilizadas. Los cambios a que se alude en las características físicas del grano, así como su posible biodeterioro durante el almacenaje, han sido inculcados como los principales factores que afectan la disponibilidad física del frijol a través de todo el año (4, 5). Por este motivo se considera importante examinar las tecnologías hasta ahora investigadas para minimizar tales efectos detrimentales ocasionados por el almacenaje del frijol, así como con miras a utilizar el grano endurecido.

Los diferentes aspectos tecnológicos investigados hasta ahora para el mejor aprovechamiento del frijol en los diferentes pasos de su utilización, se ilustran en la Figura 1. Este trabajo pretende revisar tales aspectos, y presentar nueva evidencia que brinda cierta información acerca del principio de acción de las tecnologías hasta ahora investigadas para prevenir el desarrollo de la dureza y lograr la mejor utilización del frijol endurecido durante el almacenaje.

#### EFFECTOS DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LA CALIDAD DEL FRIJOL

Se ha informado ya en este Simposio (6), así como lo han hecho varios otros autores (7-9), que los frijoles almacenados a temperaturas elevadas y/o con un alto contenido de humedad, tienden a desarrollar cierta dureza y/o un tiempo de cocción mucho mayor que cuando se almacenan a temperaturas bajas y/o con un bajo contenido de humedad. Las curvas de equilibrio de humedad del frijol indican que para mantener al grano con un contenido de 100/o, se necesita de atmósferas que contengan una humedad relativa de 30 a 400/o (4, 10). Por lo mismo, a fin de asegurar una baja humedad del grano durante su almacenaje es necesario considerar la conveniencia de contar con almacenés equipados con control de humedad relativa, que aseguren también una temperatura de almacenaje que, a su vez, permita conservar la calidad del grano. En pocas palabras, se requiere de almacenés con equipo de enfriamiento (4). Por lo tanto, se estima necesario el desarrollo de

Secuencia en la utilización del frijol	Aspectos de Desarrollo Tecnológico Investigados
Grano en Vaina	Alternativa para almacenaje minimizando endurecimiento y biodeterioro
Grano Limpio	Procesos para minimizar el endurecimiento o tiempo de cocción y biodeterioro del frijol durante el almacenaje <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Tratamiento térmico</li> <li>b. Tratamiento con solución salina (NaCl)</li> <li>c. Atmósfera modificada</li> <li>d. Frijol entero precocido</li> </ul>
Almacenaje	Efecto de temperatura y humedad relativa de almacén sobre el endurecimiento, biodeterioro y calidad proteínica del frijol
Frijol endurecido de mayor tiempo de cocción	Alternativas de utilización como alimento. <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Extrusión</li> <li>b. Enlatado</li> </ul>

FIGURA 1

Aspectos tecnológicos investigados para el mejor aprovechamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*)

tecnologías más adecuadas para aplicación a nivel comunal-rural, que aseguren la calidad culinaria y/o de procesamiento del grano.

Por otra parte Molina, Trent y Bressani (11) y Molina *et al.* (5) informaron que una temperatura y humedad relativa proporcionalmente altas (30 a 35°C y 70 a 90%, respectivamente) también provocan un mayor biodeterioro en el caso del frijol negro.

Molina *et al.* (13) al igual que otros investigadores (3, 12) han informado de los cambios en calidad proteínica que acusa el frijol debidos al almacenamiento. Esos cambios detrimentales son más evidentes al comparar los valores obtenidos a un mismo tiempo de remojo y cocción (13).

ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS PARA MINIMIZAR EL  
ENDURECIMIENTO O INCREMENTO EN TIEMPO DE COCCION  
DEL FRIJOL DURANTE SU ALMACENAMIENTO

*Bajas Temperaturas y/o Baja Humedad*

Como se señaló antes, una de las primeras alternativas sugeridas para asegurar la calidad culinaria o de procesamiento del frijol durante su almacenaje fue el uso de bajas temperaturas (alrededor de 40°C) y/o de bajas humedades del grano (10% o menos). La aplicación de tales alternativas en los climas centroamericanos o caribeños implica, sin embargo, el uso de almacenes con control de humedad relativa y/o de equipo de enfriamiento. Por ello, aun cuando la validez tecnológica de tales alternativas ha sido plenamente demostrada (3, 7-9), su posible aplicación a un nivel comunal-rural es un tanto dudosa.

*Tratamiento Térmico a Corto Tiempo*

En un esfuerzo por desarrollar una alternativa más aplicable a nivel centroamericano que las señaladas antes, Molina *et al.* (14) informaron que el tratamiento térmico por corto tiempo, del frijol recién cosechado, bastaba para minimizar el endurecimiento o incremento en el tiempo de cocción del grano, aun cuando éste fuese almacenado a 25°C, y 70% de humedad relativa por un período hasta de nueve meses. Dichos autores notifican que la dureza del grano cocido (remojado 18 horas y hervido por 20 min en agua destilada) al ser almacenado por el tiempo citado a 40°C, es estadísticamente ( $P < 0.05$ ) igual a la de los granos recién cosechados tratados durante 10 min a vapor (98°C) o por dos min en retorta (121°C). Sin la adición de agua, y luego almacenados a 25°C y 70% de humedad relativa. Por otra parte, los granos no sujetos a tratamiento, almacenados por el mismo período de tiempo y en iguales condiciones mostraron tener, cuando cocidos en igual forma, una dureza significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor; ello señala la efectividad del tratamiento térmico a corto tiempo en cuanto a minimizar el endurecimiento o incremento en el tiempo de cocción del frijol. Más tarde Bressani, Elías y Molina (15) propusieron un diagrama operacional a ser considerado como base para la aplicación de tal alternativa, a niveles que se estiman de tecnología intermedia.

Posteriormente se ha podido establecer el efecto benéfico que

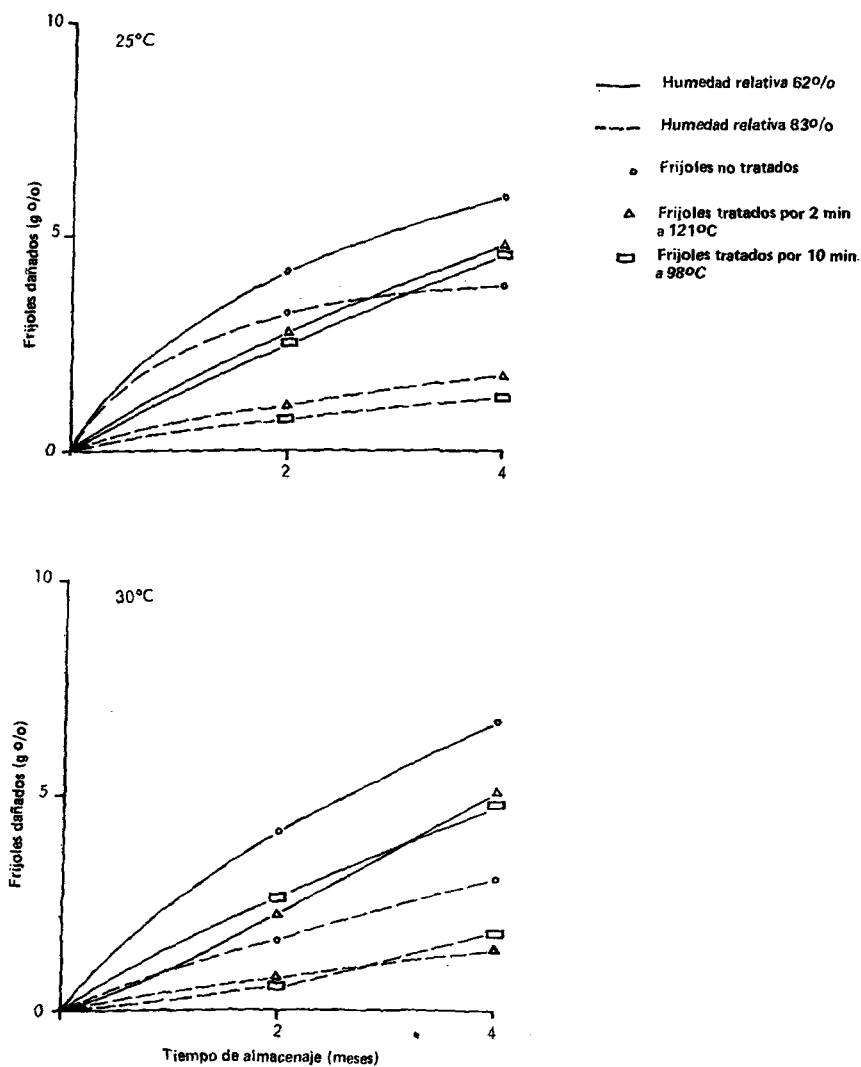
el tratamiento térmico a corto tiempo propuesto por Molina *et al.* (14) tiene sobre el biodeterioro del grano, tanto por insectos (Figura 2) como por mohos (Figura 3), minimizando estas causas de pérdida durante el almacenamiento un tratamiento térmico a corto tiempo. Se ha podido establecer también que no afecta en nada la calidad proteínica de la semilla.

Es de interés notar que Molina *et al.* (14) dieron cuenta de un incremento en la fracción nitrogenada del grano soluble en 5% KCl y en 0.01 N NaOH, durante el almacenamiento. Los mismos autores informaron también no haber encontrado correlación alguna entre la capacidad de absorción de agua del grano y la dureza del mismo ya sometido a cocción como antes se señaló. No obstante, sí hallaron una correlación estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ) entre la dureza del grano cocido y el contenido de proteína lignificada del cotiledón ( $r = 0.91$ ). Asimismo, informaron de una mejor difusión del pigmento durante la cocción de los granos tratados al compararlos con los no tratados.

#### *Tratamiento con Soluciones Salinas*

Los hallazgos notificados por Molina *et al.* (14) indicativos de la alta correlación ya mencionada entre la proteína lignificada y la dureza del grano cocido ( $r = 0.91$ ), brindan como hipótesis de trabajo para las nuevas investigaciones sobre el tema, la posibilidad de que parte de la proteína del grano forme complejos con compuestos de tipo fenólico durante el almacenaje, y que este hecho afecte el incremento en tiempo de cocción observado. Asimismo, la enzima polifenol-oxidasa (PFO) del grano podría estar involucrada en la formación de tales complejos (4). A partir de tal premisa y sabiendo que la sal común (NaCl) es un inhibidor clásico de la enzima polifenol-oxidasa (16), se decidió evaluar el efecto que un tratamiento de remojo en solución salina del grano recién cosechado podría tener sobre el desarrollo de su dureza en forma cocida, y determinar si este tratamiento de remojo brindaba otra alternativa tecnológicamente viable para su implementación a nivel comunal-rural.

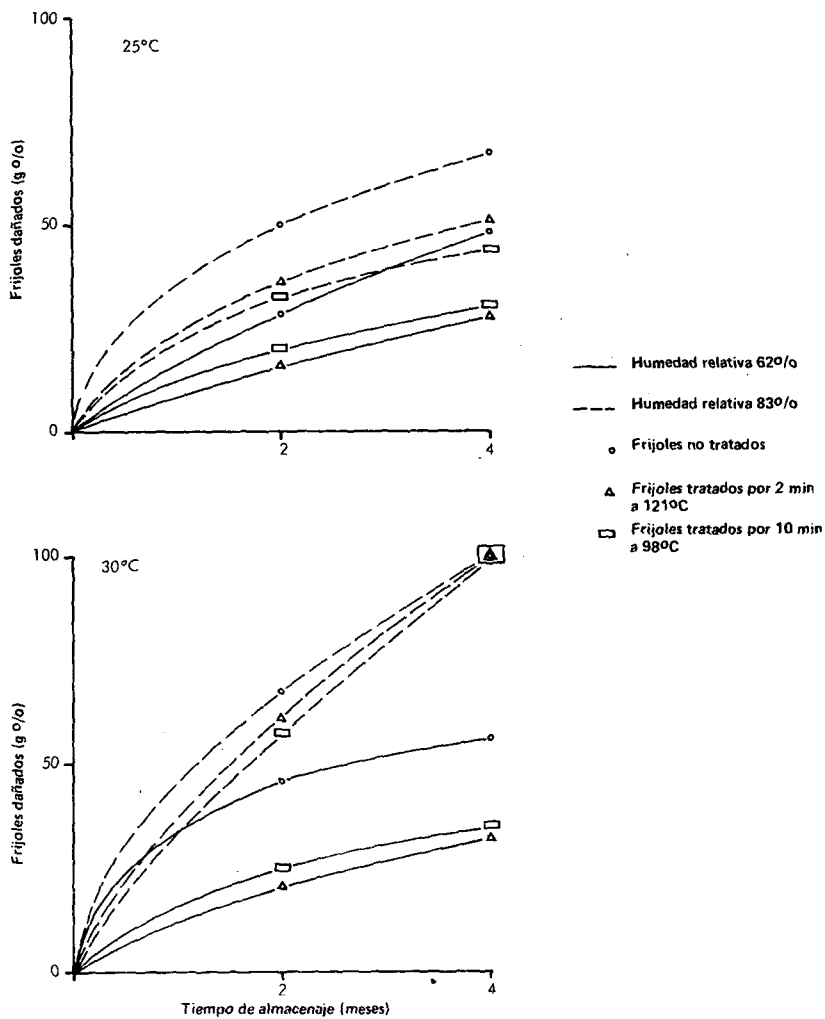
Estudios preliminares efectuados en frijol negro indicaron que el tratamiento de remojo en solución salina era capaz de minimizar el desarrollo de dureza del grano cocido, y que las soluciones de NaCl al 15% y 20% eran las más eficientes (5). Estos hallazgos sirvieron de base para ampliar las investigaciones en esta línea. Para el caso, se evaluó el efecto de la operación de remojo con



Incap 81-163

FIGURA 2

Efecto de la temperatura y humedad relativa del almacenamiento sobre el biodeterioro del frijol negro por el insecto *Acanthoscelides obtectus*



Incap 81-162

FIGURA 3

Efecto de la temperatura y humedad relativa sobre el biodeterioro del frijol negro por mohos

soluciones de 15 y 20% de NaCl sobre el desarrollo del endurecimiento y/o incremento del tiempo de cocción en frijoles blanco, rojo y negro.

Las pruebas iniciales revelaron que el grado de absorción de las soluciones salinas en un mismo tiempo y condiciones de remojo, no era el mismo para cada tipo de grano (Tabla 1), lo que ya indica una diferencia de tipo varietal con respecto al tratamiento. Los datos adicionales que se presentan para el caupí, subrayan este punto. A fin de asegurar una absorción similar y cercana a equilibrio en todos los casos, para el estudio se remojaron los frijoles negros durante seis horas, mientras que en los rojos y blancos dicha operación se efectuó por tres horas. En todos los casos los granos fueron remojados bajo condiciones ambientales, luego se secaron por exposición al sol hasta lograr un contenido de humedad de 10 a 13% y luego fueron almacenados en bolsas de tela bajo dos diferentes condiciones (25°C y 65% de humedad relativa, y 35°C y 80% de humedad relativa). Se almacenó a 4°C como controles un lote de frijoles no tratados y otro tratado. El almacenaje se evaluó por un período de nueve meses.

TABLA 1

ABSORCION DE SOLUCIONES DE CLORURO DE SODIO AL 15% y 20% EN DIFERENTES TIPOS DE FRIJOL RECIENTE COSECHADO, DESPUES DE CINCO HORAS DE REMOJO

Concentración de la solución de NaCl	Tipo de frijol (% de absorción)			
	Negro	Blanco	Rojo	Caupí
15%	5.1	20.1	26.7	69.1
20%	3.8	19.5	18.1	51.3

La composición porcentual de los granos tratados y no tratados se expone en la Tabla 2. Como era de esperar, el tratamiento salino produjo en todos los casos un incremento en el contenido de ceniza. Tal incremento, sin embargo, fue sólo de 1% en promedio para todos los granos. Por otra parte, el tratamiento de remojo salino no produjo en ningún caso alteraciones en el conteni-

TABLA 2

COMPOSICION PORCENTUAL DE FRIJOLES TRATADOS CON  
SOLUCION SALINA Y NO TRATADOS  
(Base seca)

Componente	Frijol blanco			Frijol rojo			Frijol negro		
	Solución salina			Solución salina			Solución salina		
	(o/o)			(o/o)			(o/o)		
	0	15	20	0	15	20	0	15	20
Proteína (N x 6.25)	25.4	25.4	25.4	22.8	22.3	22.6	25.2	26.8	26.5
Extracto etéreo	2.0	2.2	2.0	1.9	2.0	2.0	1.8	2.2	2.2
Fibra cruda	4.2	3.6	4.2	4.5	3.3	3.5	6.3	6.0	8.0
Ceniza	4.4	5.5	5.3	4.9	5.9	5.4	4.6	5.6	5.3
Almidón	54.4	54.8	54.7	53.9	54.5	54.0	54.6	54.8	54.1

do proteínico de los granos, aun cuando se ha informado que las proteínas del frijol son, en su mayoría, de naturaleza globulínica solubles en soluciones salinas (12).

En la Tabla 3 se muestra el contenido de algunos minerales del frijol, la actividad de la polifenol-oxidasa (PFO) al inicio del almacenaje, y los datos del índice de solubilidad de nitrógeno (ISN) en agua a un pH de 7.0, dureza del frijol cocido por 150 min en agua hirviendo (96°C), tiempo de cocción en agua hirviendo necesario para alcanzar una dureza de 80 g-f, y los datos de biodeterioro para cada muestra, al inicio y a los nueve meses de almacenaje a 35°C y 80% de humedad relativa, que fue la condición más drástica. Según se aprecia, tanto el sodio como el potasio sufren un incremento por el tratamiento salino, aunque ese incremento decrece significativamente ( $P < 0.05$ ) por la operación de cocción en agua hirviendo. Las pruebas de degustación de los granos cocidos practicadas, indicaron que no había diferencia entre el sabor y apariencia general de los granos tratados, con los de aquellos no tratados. De especial interés es el descenso en calcio observado en los frijoles tratados, dado que este mineral se ha implicado en el desarrollo de dureza e incremento en tiempo de cocción del frijol almacenado, por formación de pectatos, fitatos u otros complejos (17). Otros minerales evaluados (como magnesio, hierro, fósforo, zinc, cobre, etc.) no mostraron cambios apreciables por el tratamiento y/o el almacenaje.

TABLA 3

CONTENIDO DE ALGUNOS MINERALES, ACTIVIDAD DE POLIFENOL-OXIDASA (PFO), INDICE DE SOLUBILIDAD DE NITROGENO (ISN), DUREZA, TIEMPO DE COCCION Y BIODETERIORO EN FRIJOLES TRATADOS CON SOLUCION SALINA Y NO TRATADOS

Parámetro estimado	Frijol blanco			Frijol rojo			Frijol negro		
	Solución salina (°/o)			Solución salina (°/o)			Solución salina (°/o)		
	0	15	20	5	15	20	5	15	20
Sodio (°/o)	0.09(0.05)*	1.01(0.44)	0.69(0.35)	0.04(0.05)	1.08(0.62)	0.45(0.33)	0.08(0.05)	1.11(0.65)	0.58(0.31)
Calcio (°/o)	0.31(0.23)*	0.22(0.19)	0.22(0.21)	0.12(0.15)	0.09(0.10)	0.11(0.12)	0.28(0.21)	0.17(0.18)	0.20(0.18)
Potasio (°/o)	1.50(1.34)*	1.64(1.27)	1.64(1.22)	1.58(1.32)	1.70(1.25)	1.83(1.37)	1.62(1.28)	1.74(1.30)	1.62(1.26)
Actividad de PFO(D.O./min/g)	3.21	0.00	0.00	17.64	0.00	0.00	15.08	0.00	0.00
ISN (°/o)	77.5(69.5)**	71.4(69.0)	72.6(69.7)	96.8(64.6)	80.7(63.0)	91.6(64.6)	83.0(62.1)	71.6(62.7)	73.1(59.7)
Dureza (g-f)	75(275)**	71(148)	73(175)	70(215)	87(181)	91(181)	69(301)	65(129)	70(155)
Tiempo de cocción (min)	125(170)**	120(170)	112(175)	120(210)	120(175)	125(195)	121(224)	110(175)	118(188)
Granos dañados por insectos (°/o)	1.2(2.0)**	3.0(1.2)	1.4(0.8)	0.9(0.9)	0.4(0.4)	0.6(0.5)	6(39)	5(5)	6(5)

\* Los valores entre paréntesis corresponden a los granos cocidos en agua hirviendo (96°C) por el tiempo de cocción determinado.

\*\* Los valores entre paréntesis corresponden a aquéllos obtenidos para los granos almacenados por 9 meses a 35°C, 80°/o humedad relativa. Dureza (g-fuerza) estimada en frijoles sometidos a cocción en agua hirviendo por 150 min. Tiempo de cocción= tiempo requerido en agua hirviendo para alcanzar un valor promedio de 80 g-fuerza. Granos dañados, determinado en 1,000 granos.

De especial interés es que en ningún caso fue afectada la concentración total de fósforo, dado que se ha informado que en frijol negro la alta concentración de este elemento en sus corpúsculos proteínicos muy probablemente guarda relación con la presencia de ácido fítico (18), el cual se ha demostrado que se encuentra asociado a los corpúsculos en diferentes semillas (19). Por otra parte, también se ha informado que el someter frijoles negros a remojo en una solución de  $\text{Na}_3\text{P}_5\text{O}_{10}$  al 0.50/o ó en una solución de varias sales de sodio (1.00/o  $\text{NaCl}$ , 0.750/o  $\text{NaHCO}_3$ , 0.250/o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y 0.50/o  $\text{Na}_3\text{P}_5\text{O}_{10}$ ) incrementa los valores de fósforo al cemento intercelular y a los corpúsculos proteínicos del grano (18) y que, en el caso de arvejas, existe una relación positiva entre el contenido de fósforo y la facilidad de cocción (20). En los trabajos sobre el tratamiento con solución salina desarrollados hasta ahora, no se ha determinado todavía cómo queda el fósforo en la semilla tratada en comparación a la no tratada, y cuál es el efecto que el almacenaje ejerce sobre la localización intracelular de este elemento.

Es de anotar que el ISN en agua a un pH de 7.0 disminuyó significativamente ( $P < 0.05$ ) por el tratamiento salino en los tres tipos de frijol evaluados. Ello denota un cambio de estructura en la proteína del grano debido al tratamiento salino. Es de notar también en la misma Tabla 3 que, tanto en los granos no tratados como en los tratados con las soluciones salinas, el ISN disminuye significativamente ( $P < 0.05$ ) durante el almacenaje; sin embargo, tal decrecimiento es mucho mayor en los primeros que en los segundos, llegando a tener los granos tratados y los no tratados valores similares de ISN al final del período de almacenamiento. Este hallazgo sugiere que tanto el tratamiento salino del frijol recién cosechado, como el almacenamiento, afectan la estructura proteínica del frijol; no obstante, a partir de los datos de dureza y tiempo de cocción obtenidos, tales efectos parecen ser de naturaleza diferente, dado que el tratamiento salino demostró minimizar significativamente ( $P < 0.01$ ) tanto el endurecimiento del grano cocido, como el incremento en tiempo de cocción debidos a almacenaje. Todavía queda por determinar si existe alguna relación entre el citado cambio en ISN —debido al tratamiento con soluciones salinas— y el posible incremento en fijación de fósforo y/o ácido fítico en los corpúsculos proteínicos y en el cemento intercelular (18).

Como era de esperar, el tratamiento salino inactivó a la PFO en los tres tipos de frijol evaluados. Este hecho podría ser de

mayor relevancia para los frijoles negros y rojos que, como se contemplaba, mostraron una actividad de PFO mucho mayor que el frijol blanco.

En vista de que la sal común (NaCl) se ha reconocido como un preservativo alimentario (21), no es de extrañar que el tratamiento salino haya tenido un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en disminuir el grado de biodeterioro por insectos en el frijol negro, que fue el único que mostró un deterioro apreciable por dicha causa durante su almacenamiento.

Cabe subrayar que en todos los casos la dureza y el tiempo de cocción del frijol se elevaron significativamente ( $P < 0.01$ ) debido al almacenamiento, pero dichos incrementos fueron significativamente ( $P < 0.01$ ) menores en el caso de las muestras tratadas, lo que indica el efecto positivo del tratamiento salino. Tanto la dureza como el tiempo de cocción de los tres frijoles evaluados (Tabla 3), mostraron una correlación negativa significativa ( $P < 0.01$ ) con la capacidad de absorción de agua ( $r = -0.76$  y  $-0.84$ , respectivamente), con el coeficiente de hidratación ( $r = -0.73$  y  $-0.87$ ), y con la viscosidad amilográfica alcanzada al llegar la suspensión a  $95^{\circ}\text{C}$  ( $r = -0.71$  y  $-0.67$ ). Los valores equivalente de estos tres últimos parámetros se presentan en la Tabla 4, para los granos almacenados bajo las condiciones más drásticas ( $35^{\circ}\text{C}$  y  $80\%$  de humedad relativa).

Si existe una relación entre los cambios en contenido de minerales, el ISN o estructura proteínica del frijol, así como la inactivación de la PFO, propiciados por el tratamiento salino y su efecto en incrementar la absorción de agua, el coeficiente de hidratación, y la viscosidad amilográfica alcanzada a  $95^{\circ}\text{C}$  del grano almacenado, queda aún por determinarse. Lo mismo aplica al papel que, independientemente, puede jugar cada uno de estos parámetros, y la interacción entre ellos en el desarrollo de la dureza e incremento en tiempo de cocción del frijol durante el almacenaje, todo lo cual debiera investigarse.

Debido a que Molina *et al.* (14) dan cuenta de que en el caso del tratamiento térmico por corto tiempo, no existe ninguna correlación entre la absorción de agua y la dureza del grano cocido, se podría inferir que la forma de acción del tratamiento térmico en prevenir el endurecimiento del grano difiere de aquella de las soluciones salinas para lograr el mismo fin.

El hecho de haber encontrado una correlación negativa significativa ( $P < 0.01$ ) entre la viscosidad amilográfica estimada al llegar a una temperatura dada ( $95^{\circ}\text{C}$ ) y el tiempo de cocción o la dureza

TABLA 4

## ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE FRIJOLES TRATADOS CON SOLUCIÓN SALINA Y NO TRATADOS

Parámetro estimado	Frijol blanco			Frijol rojo			Frijol negro		
	Solución salina (0/o)			Solución salina (0/o)			Solución salina (0/o)		
	0	15	20	0	15	20	0	15	20
Absorción de agua (0/o)	73(45)*	82(70)	78(71)	86(35)	81(71)	70(60)	82(42)	84(72)	79(66)
Coefficiente de hidratación (0/o)	172(142)*	178(169)	182(170)	176(135)	182(172)	171(159)	183(138)	169(161)	181(165)
Viscosidad (BU)**	320(320)*	280(360)	270(360)	370(200)	280(300)	260(240)	290(190)	250(280)	240(230)

\* Valores entre paréntesis corresponden a los granos almacenados por 9 meses a 35°C y 80% de humedad relativa. La absorción de agua fue medida en la harina.

\*\* BU = Unidades Brabender.

del grano cocido, refuerza lo expresado ya por otros autores (22, 23) en el sentido de que la fracción feculenta (principal responsable por dicha viscosidad) al igual que la fracción proteínica están involucradas en el endurecimiento y propiedades culinarias del frijol.

El hallazgo de que tanto los frijoles no tratados como los tratados con solución salina, recién cosechados o almacenados por nueve meses, al ser sometidos a su tiempo de cocción determinado (Tabla 3) mostraron básicamente la misma calidad proteínica (Tabla 5), sugiere que tanto el tratamiento salino como el almacenaje no tiene efecto alguno sobre el valor nutritivo del grano cuando éste se cuece adecuadamente y por el tiempo necesario. El hecho de que el frijol blanco presentase una calidad proteínica superior a la de los frijoles negros y rojos era de esperar, en base a evidencias existentes (24).

En suma, considerando lo eficiente y simple del tratamiento salino para controlar el endurecimiento y el incremento del tiempo de cocción del frijol (sea éste blanco, negro o rojo) debido a almacenamiento, así como el posible biodeterioro del grano, este tratamiento se considera como una alternativa viable que debe ya evaluarse en sistemas de posible aplicación a escala comunal-rural, aun cuando el principio de acción del NaCl con respecto al control de la dureza todavía no esté definido. Estimamos, sin embargo, que es de gran relevancia el continuar investigando este aspecto, para definir el (o los) principio (s) de acción, a fin de contar con bases que permitan hacer más eficiente la tecnología, o bien derivar otras posibles alternativas.

### *Atmósferas Modificadas*

Siempre bajo la premisa de la posible implicación de la enzima PFO en la formación de complejos proteínicos cuyo resultado fuese la proteína lignificada en el grano de frijol durante su almacenamiento y que ésta a su vez estaba implicada en el endurecimiento e incremento del tiempo de cocción del grano almacenado (4, 14), se pensó en otra posible alternativa que tendiese a minimizar la actividad de esta enzima. Ya que para su actividad, la PFO necesita de la presencia de oxígeno (16), se pensó en la posibilidad de almacenar el grano en atmósferas donde el aire ambiente fuese sustituido en proporciones crecientes por anhídrido carbónico.

Para este efecto y con miras a definir una posible interacción entre el tratamiento salino y el uso de atmósferas enrarecidas con

TABLA 5

CARACTERISTICAS DE CALIDAD PROTEINICA DE FRIJOLES TRATADOS CON SOLUCION SALINA Y NO TRATADOS

Parámetro estimado	Frijol blanco			Frijol rojo			Frijol negro		
	Solución salina (°/o)			Solución salina (°/o)			Solución salina (°/o)		
	0	15	20	0	15	20	0	15	20
Razón proteínica neta (NPR)	2.68(2.73)*	2.72(2.40)	2.67(2.76)	2.35(2.48)	2.23(2.61)	2.57(2.61)	2.41(2.30)	2.38(2.40)	2.40(2.35)
Digestibilidad verdadera (°/o)	79(78)*	80(79)	79(77)	71(74)	74(72)	74(74)	71(70)	72(73)	70(73)
Inhibidores de tripsina (UTI/g)	8.8(5.3)**	11.3(3.6)	10.7(4.7)	17.6(6.5)	15.7(3.9)	17.8(4.0)	18.1(5.9)	17.9(3.1)	18.1(4.1)
Hemaglutininas (Título hemaglutinante)	9(0)**	10(0)	10(0)	8(0)	8(0)	8(0)	8(0)	7(0)	7(0)

\* Los valores de evaluaciones biológicas entre paréntesis corresponden a los frijoles almacenados durante nueve meses a 35°C y 80°/o de humedad relativa.

\*\* Los valores entre paréntesis corresponden a los frijoles cocidos en agua hirviendo por el tiempo de cocción determinado.

anhídrido carbónico, se tomó una muestra de frijol negro recién cosechado y se dividió en cinco lotes; cuatro de ellos fueron tratados con soluciones de NaCl a cuatro diferentes concentraciones (10, 15, 20, y 25%), mientras que el quinto se mantuvo sin tratamiento. Luego, cada lote fue dividido en cuatro partes iguales, las que se almacenaron en las cuatro diferentes atmósferas (una con aire ambiente 100%, otra con aire ambiente 75% y 25% de CO<sub>2</sub>, la tercera con 50% CO<sub>2</sub> y aire ambiente, y la cuarta con 75% CO<sub>2</sub> y 25% aire ambiente) y a 25°C. Los resultados obtenidos al evaluar la dureza de los frijoles cocidos (18 horas de remojo y 20 min de cocción en agua hirviendo) después de seis meses de almacenaje, se exponen en la Tabla 6. Como puede apreciarse, el enrarecimiento de la atmósfera con CO<sub>2</sub> incrementó el valor de dureza, tanto en los frijoles no tratados como en aquéllos sometidos a tratamiento con solución salina.

El efecto nocivo que produce el enrarecer la atmósfera con CO<sub>2</sub> sobre la dureza del grano no tratado, parece sugerir que la PFO tiene muy poco o nada que ver en lo que al endurecimiento del frijol o a su incremento en tiempo de cocción debido al almacenaje concierne. Lo mismo parece subrayar el hecho que el efecto benéfico que tuvo el tratamiento salino (en especial a las concentraciones de 15 y 20%) cuando las muestras se almacenan al ambiente, desaparece casi totalmente al enrarecerse la atmósfera con CO<sub>2</sub> en niveles crecientes, hasta de 75%. Por lo mismo, se considera que la acción benéfica del tratamiento con soluciones salinas en el control del endurecimiento del grano de frijol o en el incremento de su tiempo de cocción durante el almacenaje, puede que no tenga nada que ver con su acción inhibitoria de la enzima PFO. En consecuencia, creemos que las futuras investigaciones tendientes a esclarecer el modo de acción del tratamiento salino, deberían enfocarse más hacia los efectos de éste sobre la estructura y solubilidad proteínica, hacia el contenido y forma de enlace de minerales específicos, hacia las características reológicas y estructurales del almidón, y hacia lo ya informado (18), o sea que las soluciones de sales tienden a solubilizar y/o extraer las sustancias pépticas del cemento intercelular.

No obstante, es de interés observar que los efectos benéficos del tratamiento salino son inhibidos al enrarecer la atmósfera con CO<sub>2</sub>. ¿Significa esto que la solución salina necesita de la presencia de oxígeno o de algún mecanismo respiratorio aeróbico de la semilla para actuar? Esta posibilidad aún queda por investigar.

TABLA 6

DUREZA DE FRIJOLES NEGROS (*P. vulgaris*) SOMETIDOS Y NO SOMETIDOS A REMOJO EN SOLUCION DE NaCl, COCIDOS DESPUES DE SEIS MESES DE ALMACENAJE BAJO DIFERENTES ATMOSFERAS A TEMPERATURA AMBIENTE\*

Solución salina usada (o/o)	Atmósfera de almacenaje			
	Ambiental**	25o/o CO <sub>2</sub>	50o/o CO <sub>2</sub>	75o/o CO <sub>2</sub>
—	576 ± 113***	590 ± 58	605 ± 98	690 ± 77
25	462 ± 102	522 ± 38	560 ± 77	592 ± 59
20	375 ± 65	495 ± 35	525 ± 129	578 ± 89
15	390 ± 50	462 ± 65	522 ± 59	588 ± 63
10	515 ± 19	525 ± 39	660 ± 57	662 ± 129

\* Dureza medida por la prueba de puntura en el aparato Instron. Los frijoles almacenados fueron sometidos a 18 hr de remojo y a 20 min de ebullición en agua antes de la prueba. El remojo en solución salina se efectuó por una hora a temperatura ambiente antes del almacenaje, expresado en g fuerza.

\*\* Se encontró una correlación negativa ( $r = -0.92$ ) altamente significativa ( $P < 0.05$ ) entre la cantidad de sal absorbida y la dureza. El efecto de sal sobre la dureza fue significativo ( $P < 0.05$ ).

\*\*\* Desviación estándar.

#### *Precocción del Grano Entero*

Otra forma considerada como posible para brindar una alternativa viable para prevenir el endurecimiento o incremento en el tiempo de cocción del frijol durante su almacenamiento, ha sido la elaboración de un frijol entero precocido y seco a partir del grano recién cosechado.

A fin de evaluar la posible validez de esta alternativa, se tomó frijol negro crudo recién cosechado, el cual se dividió en cinco lotes. El primer lote se dejó como estándar crudo, mientras que los los cuatro restantes fueron precocidos en agua hirviendo (96°C) durante 2, 5, 10 y 15 min, respectivamente. Los lotes precocidos, como ya se indicó, fueron luego secados en cama de sal por 15 a

20 min, a temperatura ambiente; se aplicó para el caso, una técnica similar a la descrita por Vijaya Raghavan y Harper (25). El tiempo de 15 a 20 min en la cama de sal fue suficiente para eliminar la mayor parte del agua embebida (15, 18, 27 y 43% para 2, 5, 10 y 15 min de precocción, respectivamente); no obstante, hubo necesidad de exponer los granos precocidos al sol por un promedio de tres horas a fin de lograr un contenido de humedad de 10 a 13% en los mismos. Luego, todas las muestras fueron almacenadas durante seis meses bajo condiciones ambientales (25°C y 60 a 70% humedad relativa), en bolsas de tela.

La dureza de todas las muestras fue evaluada después del tiempo de almacenaje señalado, sometiéndolas a todas, a un tratamiento en agua hirviendo por 30 min previo a la prueba. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 7. Como los datos lo revelan, todos los granos sometidos a precocción acusaron valores inferiores de dureza —evaluada en el grano cocido— que el frijol almacenado en forma cruda. El tratamiento de precocción más eficiente fue el mayor tiempo evaluado (15 min). En la Tabla 8 se presentan los datos de dureza detectados a diferentes tiempos de cocción en agua hirviendo (96°C) para el frijol control (crudo) y el frijol precocido por 15 minutos después de almacenado por seis meses bajo las condiciones ya señaladas. Los datos indican que mientras el frijol precocido alcanzó un valor de dureza de 210 g-f

TABLA 7

DUREZA DE FRIJOLES SOMETIDOS A DIVERSOS TRATAMIENTOS  
DE PRECOCCION, DESPUES DE SEIS MESES DE ALMACENAJE  
EN CONDICIONES AMBIENTALES

Precocción en agua hirviendo (min)	Dureza* (g fuerza)
0	900
2	855
5	783
10	765
15	649

\* Medida por la prueba de puntura en el aparato Instron. Todas las muestras fueron sometidas a una cocción estándar de 30 min en agua hirviendo previo a la prueba.

TABLA 8

**DUREZA DE FRIJOL COMUN Y FRIJOL PRECOCIDO DESPUES  
DE SEIS MESES DE ALMACENAJE Y SOMETIDOS A DIVERSOS  
TIEMPOS DE COCCION\***

Tiempo de cocción previo a la prueba (min)	Dureza (g fuerza)	
	Frijol control	Frijol precocido**
10	1,050	840
20	1,070	800
30	900	670
40	620	520
50	560	360
60	380	210***
70	270	—
80	260	—

\* La cocción fue efectuada en agua hirviendo previo a la determinación de dureza por la prueba de puntura utilizando el aparato Instron.

\*\* Precocido por 15 min en agua hirviendo y secado previo al almacenaje.

\*\*\* El frijol estaba completamente cocido.

después de 60 min de tratamiento en agua hirviendo, el frijol control (o crudo) permanecía sin lograr dicho valor, aun después de 80 min de cocción en agua hirviendo. Estos datos señalan, pues, que la cocción previa del grano recién cosechado por 15 min se traduce, después del almacenaje, en un ahorro de tiempo de cocción, lo que desde el punto de vista energético, es muy favorable. Es de mencionar que el grano precocido alcanzó su cocción completa entre los 60 y 70 minutos de tratamiento en agua hirviendo.

Con base en lo expuesto, se considera que esta tecnología de precocción del frijol recién cosechado puede ofrecer una alternativa viable para controlar el endurecimiento del grano por almacenaje. Esta alternativa podría ser la base para agroindustrias a nivel comunal-rural en zonas de alta producción de este grano básico.

#### *Almacenaje de Grano en Vaina*

Debido a que datos proporcionados por agricultores produc-

tores de frijol en Guatemala han revelado que una práctica usada por algunos de ellos para preservar mejor el frijol dedicado al consumo de sus hogares durante el almacenaje, es almacenarlo en la vaina, se decidió determinar la validez de tal práctica en el control del endurecimiento por almacenaje. Para el efecto se dividió en dos porciones un lote de frijol negro, sazón, recién cosechado, en su vaina. Una se dejó en ese estado, mientras que la otra se aporréo, descartándose la vaina y limpiándose el grano. Ambas porciones fueron luego almacenadas durante nueve meses bajo condiciones ambientales (25°C y 60 a 70% de humedad relativa) y en sacos de tela. En ambas porciones se evaluó la dureza del grano cocido por 150 min en agua hirviendo, el tiempo de cocción necesario para llegar a 80 g-f (dureza promedio de grano cocido) y el número de granos dañados por insectos. Estas evaluaciones se realizaron al inicio y al final del período de almacenaje citado. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 9. Según se aprecia, el almacenar el frijol en su vaina redujo significativamente ( $P < 0.05$ ) tanto el incremento en dureza de grano cocido, como el incremento en tiempo de cocción y biodeterioro del frijol por almacenaje. En base a estos datos, en los momentos actuales se proyecta repetir el estudio, tratando de profundizar en aquellos parámetros que viertan información básica sobre el modo de acción de esta alternativa en minimizar el endurecimiento del frijol almacenado. Su efecto sobre el biodeterioro parece relativamente fácil de explicar, considerando la protección de la vaina.

Aun cuando el considerable mayor volumen específico del frijol en vaina, comparado con el del grano limpio, hace de dudosa aplicación esta alternativa para sistemas de almacenamiento a nivel comunal, estimamos que sí puede ofrecer una alternativa viable para un nivel casero de autoconsumo.

#### ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS PARA LA UTILIZACION DEL FRIJOL ENDURECIDO POR ALMACENAMIENTO

En general, las alternativas hasta ahora evaluadas para la utilización del grano de frijol endurecido como alimento, comprenden dos rubros, uno tendiente a su utilización como alimento humano, y el otro utilizándolo como base para aporte proteínico a raciones destinadas al consumo animal.

TABLA 9

**CARACTERISTICAS DE DUREZA, TIEMPO DE COCCION Y  
BIODETERIORO POR INSECTOS EN FRIJOL NEGRO ALMACENADO  
EN GRANO CON Y SIN VAINA POR 9 MESES A 25°C**

Parámetro estimado	Forma de almacenaje			
	Frijol en grano		Frijol en vaina	
	Valor inicial	Después de almacenado	Valor inicial	Después de almacenado
Dureza (g.f)*	70	287	69	133
Tiempo de cocción (min)**	123	221	125	177
Granos dañados por insectos (o/o)***	7	34	6	5

\* Determinado como los g-fuerza después de 150 min en agua hirviendo (96°C).

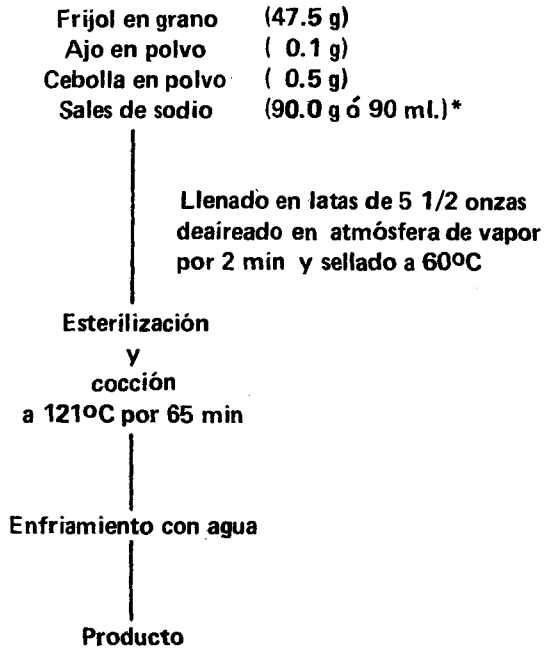
\*\* Minutos necesarios para llegar a una dureza promedio de 80 g-fuerza.

\*\*\* Valores promedio obtenidos en 1,000 granos por muestra.

### *Como Alimento Humano*

#### *Enlatado*

Rockland y Metzler (26) informan que los frijoles remojados en una solución de sales de sodio (1.00/o NaCl, 0.750/o NaHCO<sub>3</sub>, 0.250/o Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y 0.50/o Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>) infiltrada al grano previamente por vacío, presentaban características de rápida cocción. Fundados en dicha evidencia, consideramos que esa solución de sales podría reducir el tiempo de cocción de frijoles endurecidos haciéndolos de nuevo utilizables para la alimentación humana. En vista de la disponibilidad relativamente baja de algunas de las sales citadas a nivel familiar, se consideró comenzar usando tal solución de sales de sodio en un proceso a nivel agroindustrial, como el enlatado. Este proceso se efectuó en general según se describe en la literatura (27), usando las condiciones apuntadas en la Figura 4. El producto final probó estar completamente cocido y ser de alta aceptabilidad. Los datos estimados de costos principales para



\* NaCl, 2.50/o; Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 1.00/o; NaHCO<sub>3</sub>, 0.750/o y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 0.250/o.

FIGURA 4

Operaciones principales en la manufactura de frijol entero enlatado usando frijol endurecido

aplicar esta alternativa (Tabla 10) reflejan un costo de producción competitivo con el de productos similares que ahora circulan en el mercado. Es importante notar, sin embargo, el alto porcentaje que representa el costo del envase (lata) con relación al costo total estimado (620/o). Ello indica que nuevos trabajos en esta área deberían considerar la posibilidad de evaluar otro tipo de envases. La alternativa de presentar el producto seco, como originalmente lo pensaron Rockland y Metzler (26) y Rockland y Jones (28) podría también ser evaluada.

A nuestro juicio, el hecho de que el uso de una solución de

TABLA 10

**COSTOS OPERACIONALES EN LA MANUFACTURA DE FRIJOL  
NEGRO ENTERO ENLATADO USANDO FRIJOL NEGRO ENDURECIDO**

Componente	Costo por lata* (ctvs. de \$ C.A.)
Ingredientes	5.1 (sales 2.1 ctvs.)***
Envase	13.0
Vapor	1.3
Electricidad	0.001
Mano de obra**	1.3
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
<b>Total</b>	<b>20.701</b>

\* Lata de 5 1/2 onzas, peso neto 138 g, espacio de cabeza 1.0 cm., vacío 460 mm Hg, humedad de producto 69.30/o con un contenido proteínico de 6.30/o, y un pH de 7.8.

\*\* En base a dos operarios a \$ C.A. 4.00 por día cada uno, trabajando en lotes de 125 latas.

\*\*\* NaCl, 2.50/o; Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 1.00/o; NaHCO<sub>3</sub>, 0.750/o; y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 0.250/o.

sales como la propuesta por Rockland y Metzler (26) haga posible la cocción del grano de frijol endurecido en un tiempo similar al grano recién cosechado, debe aprovecharse para utilizar el grano endurecido a nivel agroindustrial.

### *Extrusión*

Un proceso de cocción a relativo bajo costo lo representa la utilización de extrusores termodinámicamente autógenos como el Brady Crop Cooker (29). Por tal motivo, se consideró de interés evaluar ese proceso para efectuar la cocción del frijol endurecido previamente tratado por remojo con la solución de sales de sodio antes detallada (Tabla 10, Fig. 4), así como con una solución al 0.750/o de NaHCO<sub>3</sub>, otra que contenga 1.00/o de NaCl, y 0.750/o de NaHCO<sub>3</sub>, y una última con 1.00/o de NaCl. Para los efectos, se sometieron a remojo cuatro lotes de frijol negro endurecido por almacenaje, independientemente en cada una de las cuatro soluciones citadas, durante un término de 16 horas a temperatura ambiente. Después de dicho tiempo, se descartó la solución y los frijoles

húmedos (70% de humedad promedio) se sometieron a cocción por extrusión en el Brady Crop Cooker a una apertura de cono de 0.6 mm, con una velocidad del tornillo alimentador de 32 rpm. La temperatura alcanzada en el aparato bajo las condiciones citadas fue de 85 a 90°C, y el producto resultante tenía un contenido de humedad promedio de 40%; por este motivo, se sometió a secado en horno de aire forzado con una temperatura del aire entrante de 125°C (para asegurar la cocción final del producto) hasta alcanzar una humedad de 10 a 12%. Por separado, se tomó un lote de frijol negro recién cosechado que se sometió a cocción en agua destilada en la retorta (121°C, 15 psig) por 20 min, y luego de separar el caldo, el grano fue liofilizado. Tanto los frijoles extruidos como el frijol estándar (cocido en retorta y liofilizado) fueron molidos a una granulometría promedio de 60 mallas.

La viscosidad amilográfica de los diferentes productos obtenidos por extrusión y el producto obtenido del frijol recién cosechado (tomado como estándar), se muestra en la Figura 5. Como se aprecia, el frijol extruido con remojo en la solución que contenía NaCl, muestra todavía un valor alto (480 U.B.) de viscosidad a los 95°C, mientras que los sujetos a remojo en las soluciones de NaCl y NaHCO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub> y la mezcla de sales completa, acusaron viscosidades cada vez menores a la misma temperatura. Este hallazgo señala que el grado de gelificación del almidón alcanzado por el proceso de extrusión, fue mayor en la muestra en que se usó remojo con la mezcla de sales. En otras palabras, en esta mezcla se alcanzó una mejor "cocción", indicada por el rompimiento del mayor número de sus gránulos de almidón en el proceso, lo que se refleja en un menor pico de viscosidad a 95°C. Lo anterior lo comprueba el hecho de que la muestra estándar (obtenida del frijol recién cosechado, cocido en retorta y liofilizado) dio la menor viscosidad (20 UB) a 95°C.

Al someter las muestras a una cocción posterior (en agua hirviendo por 10 minutos) su pico de viscosidad a 95°C debería de desaparecer o disminuir, y mostrar ya una viscosidad a temperaturas más bajas por el rompimiento de sus gránulos de almidón en la operación de ebullición. Si bien se encontró esa respuesta (Figura 6), de nuevo el frijol remojado en la solución de NaCl y cocido por extrusión, mostró una viscosidad significativamente ( $P < 0.01$ ) más alta en todas las temperaturas, que aquél remojado en la mezcla de sales y cocido en la misma forma y que, a su vez, acusó un valor significativamente ( $P < 0.05$ ) más alto de viscosidad a cualquier temperatura que la muestra estándar. En esta prueba los

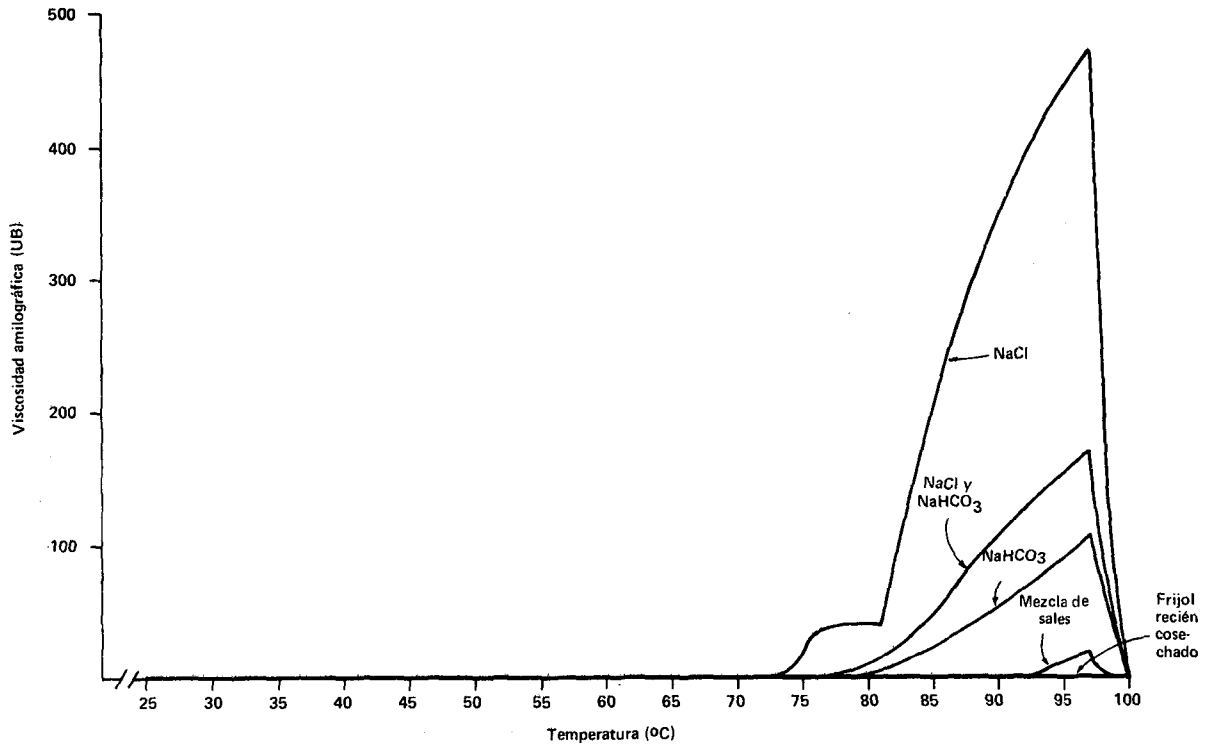
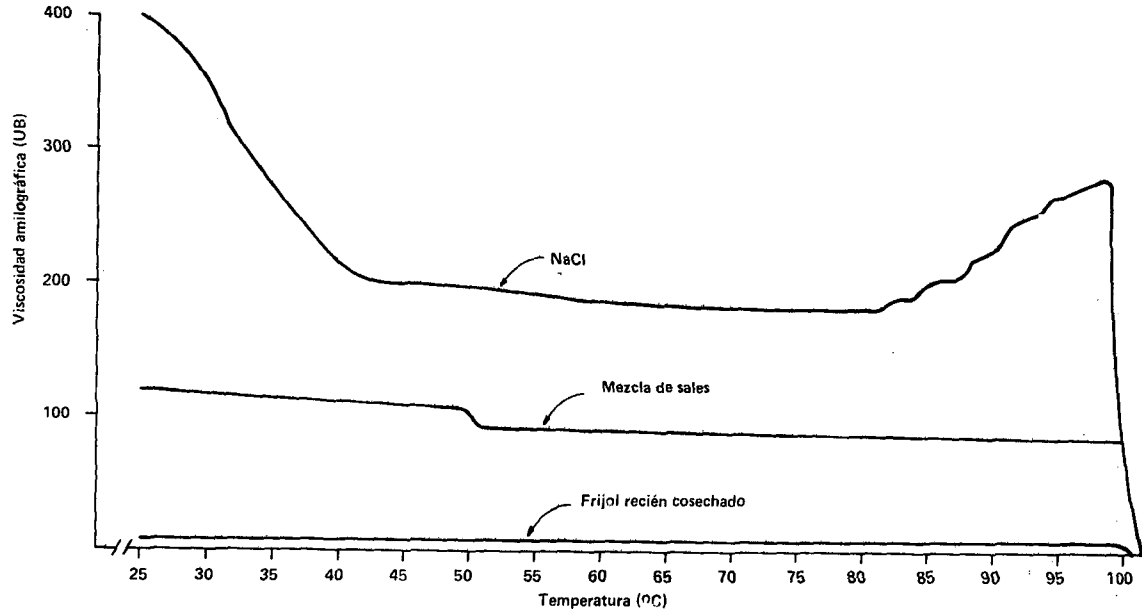


FIGURA 5

Curvas de viscosidad amilográfica obtenidas para frijol negro endurecido precocido por extrusión con NaCl; NaHCO<sub>3</sub>; NaCl y NaHCO<sub>3</sub>; y mezclas de sales de sodio, así como para frijol recién cosechado, cocido por métodos tradicionales



Incap 81-158

FIGURA 6

Curvas de viscosidad amilográfica obtenidas para harinas precocidas de frijol negro endurecido, procesado por extrusión, con el agregado de NaCl y de mezccla de sales de sodio después de hervir durante 10 minutos en agua

valores para las muestras remojadas tanto en NaCl y NaHCO<sub>3</sub> como solo en NaHCO<sub>3</sub>, y cocidas por extrusión, fueron prácticamente iguales al que presentó la muestra remojada en la solución con la mezcla de sales y cocida por extrusión. Estos resultados mostraron alta relevancia al efectuar las pruebas culinarias de reconstitución de las diferentes muestras para su presentación en forma de frijol en "maleta". En esta prueba la única muestra rechazada fue aquella remojada sólo en solución de NaCl previo a su extrusión, por estimarse que era muy "pegajosa" al quererse preparar la maleta después de resuspender la harina en agua hirviendo por 10 min, y luego freírla. Estos datos concuerdan con la alta viscosidad a bajas temperaturas encontrada para la misma muestra hervida por 10 minutos (Figura 6).

El por qué se obtiene una mejor cocción (o rompimiento de gránulos de almidón) por extrusión en las muestras remojadas con NaCl y NaHCO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub> o la mezcla de sales, podría deberse al relativamente alto pH brindado por el bicarbonato de sodio a la solución (alrededor de 8.0 a 8.3). En relación al relativamente mejor resultado obtenido con la mezcla de sales que con aquellas soluciones que contenían NaCl y NaHCO<sub>3</sub> ó solo NaHCO<sub>3</sub>, no debe olvidarse la presencia del fósforo y su posible relación a la dureza y/o facilidad de cocción en leguminosas (18, 20).

Las pruebas preliminares realizadas indican que el uso de una solución de 0.75 a 1.00/o de NaHCO<sub>3</sub> como agua de cocción, puede acortar significativamente el tiempo de cocción del frijol endurecido. Este hallazgo confirma en parte las creencias populares de algunas áreas de Guatemala, y abre una ruta más viable para introducir el uso de una sal tan común como es el bicarbonato de sodio, a nivel familiar, para ayudar a la mejor utilización del frijol endurecido en el hogar.

En resumen, opinamos que el uso de soluciones de sales de sodio puede abrir alternativas para la formación de agroindustrias a nivel comunal usando el proceso de cocción por extrusión de relativo bajo costo (29), para la mejor utilización del frijol endurecido. Considerando los costos operacionales estimados para ese proceso en Guatemala (Tabla 11), creemos que sí puede ser una alternativa viable. El uso especial del bicarbonato de sodio en aguas de remojo y cocción de frijol endurecido debería investigarse más a fondo para su posible aplicación a nivel familiar.

TABLA 11

ESTIMACION PRELIMINAR DE COSTOS OPERACIONALES DE  
EXTRUSION USANDO EL BRADY CROP COOKER

Componente	Costo por hora (Q)	Costo por quintal (Q)
Combustible	1.30	0.22
Mantenimiento	1.43	0.24
Depreciación	1.42	0.24
1 Encargado de operaciones	3.50	0.81
2 Ayudantes de operaciones	2.50 (Q 1.25 c/u)	0.58
Moliendas y pelado	3.50	0.35
<b>Total</b>	<b>13.65</b>	<b>2.44</b>

*Como Alimento Para Animales*

El posible uso de frijol endurecido cocido por el proceso de extrusión de bajo costo en combinación con ajonjolí como fuente parcial de proteína en dietas para pollos de engorde, fue notificado por Murillo, Cabezas y Bressani (30). El estudio en cuestión demostró que el frijol endurecido y cocido por extrusión puede emplearse hasta en un 160/o en dietas para pollos de engorde sin detrimento del rendimiento de los animales. Este porcentaje permitió sustituir 300/o de la harina de soya y 200/o del maíz presentes en la dieta control.

Esto representa otra alternativa de singular importancia a utilizar para el frijol endurecido, si se considera que dicho grano sustituirá en parte los productos de importación en algunos países, como lo es la harina de soya (30). Hay que tener presente, sin embargo, que el precio de un alimento para animales (como el pollo) es siempre relativamente bajo y, por ende, es posible que al usar esta ruta de utilización no se pueda compensar el mismo precio ofrecido para el frijol destinado a consumo humano. Por consiguiente, es muy probable que si existen vías para utilizar el frijol endurecido como alimento humano, sean éstas económicamente más atractivas para el productor y/o el "almacenador" del grano, que las vías de utilización en producción animal.

Debería subrayarse, sin embargo, que ésta constituirá otra alternativa de utilización para el frijol endurecido, que está abierta para ser considerada y/o aprovechada en cualquier tiempo.

#### RESUMEN

En este trabajo se revisa la información presentada en la literatura hasta el momento en lo referente a tecnologías evaluadas, tanto para la prevención del endurecimiento, o incremento en tiempo de cocción, y biodeterioro del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) durante el almacenaje, como para la utilización del grano endurecido. Además, se presentan evidencias de nuevas alternativas tecnológicas desarrolladas con los mismos propósitos. En general, se considera que las tecnologías de tratamiento térmico a corto tiempo, el remojo en soluciones salinas al 150/o, y el almacenamiento del grano en vaina, representan hasta ahora las mejores opciones para prevenir el endurecimiento (o incremento en tiempo de cocción) y biodeterioro del frijol por almacenaje, por estimarlas como tecnologías apropiadas para uso en el área centroamericana y caribeña. De las tres alternativas citadas, las dos primeras se consideran posibles de evaluación para uso a nivel comunal-rural, o aun más amplio, mientras que la tercera se juzga más apropiada para utilizar a nivel pequeño o familiar. La opción de prevenir el endurecimiento mediante el almacenaje a baja temperatura (40C) y humedad (8 a 100/o en el grano, equivalente a 30 a 500/o de humedad relativa en el ambiente de almacén), se cree poco apropiada ya que se piensa que es de alta inversión y altos costos operacionales para el área centroamericana y del Caribe, lugares donde el frijol constituye un grano básico para la dieta popular. La opción de utilización de atmósferas de almacén enrarecidas con anhídrido carbónico para lograr el mismo fin, se descarta del todo, ya que su uso tiende a incrementar el endurecimiento del grano por almacenaje en vez de minimizarlo. En base a lo expuesto, se considera que la enzima polifenol-oxidasa no juega un papel relevante en el endurecimiento del frijol.

La evidencia aquí presentada señala que el modo de acción del tratamiento térmico a corto tiempo para controlar el endurecimiento del grano de frijol, difiere de la del uso de soluciones salinas, dado que al usar esta última se encuentran correlaciones negativas altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre los valores de dureza y el tiempo de cocción, con aquéllos de absorción de agua y

coeficiente de hidratación del grano, correlaciones que fueron inexistentes en el primer caso. En general, el control del endurecimiento del grano de frijol parece estar relacionado a cambios de la estructura proteínica y/o cambios en la solubilidad de nitrógeno del grano, así como a cambios en las características de gelificación o gelatinización del almidón del mismo. La posibilidad de una interacción entre ambos parámetros, así como de la influencia que en los mismos pueda tener el cambio en concentración de minerales totales —propiciado por el tratamiento salino— o los posibles cambios en localización intracelular de algunos minerales como el fósforo, y/o la posible eliminación de las sustancias pécticas por el tratamiento salino, todavía quedan por definirse. Se enfatiza que es necesario emprender nuevas investigaciones a fin de establecer el modo de acción de cada alternativa, lo que a su vez se considera imprescindible para el desarrollo de nuevas tecnologías, tal vez más simples y/o aplicables.

La alternativa de controlar el endurecimiento mediante la elaboración de un frijol entero precocido y seco a partir del grano recién cosechado, se considera apropiada para utilizar como base para una posible agroindustria a nivel comunal.

En forma similar, las alternativas de utilización del frijol endurecido a través de procesos de enlatado o de cocción por extrusión de bajo costo, concomitantes con el uso de soluciones de sales de sodio para facilitar la cocción del grano, se consideran como posibles bases para el establecimiento de agroindustrias a nivel comunal. Las evidencias presentadas en el caso de la cocción por extrusión con el uso de soluciones de sales de sodio, resalta de nuevo el importante papel que el comportamiento de la fracción almidonada del grano endurecido y procesado desempeña, tanto en lo que respecta a su relativo grado de cocción como a su aceptación culinaria. La misma evidencia también denota la diferente eficiencia de varias sales de sodio en cuanto a acelerar la cocción del grano de frijol endurecido. En base a la misma, así como fundados en datos preliminares, se estima que el bicarbonato de sodio en soluciones de 0.75 a 1.0% podría considerarse como una alternativa viable a ser usada a nivel familiar, como agua de cocción para frijoles endurecidos.

El proceso de extrusión a bajo costo representa una alternativa de cocción del grano de frijol endurecido para ser considerado ya, como ingrediente en raciones para animales tales como pollos de engorde. Se estima que dicha alternativa, aun cuando atrayente y de inmediata aplicación, debe examinarse más detenidamente

desde el punto de vista económico del productor y del "almacenedor" del frijol, dado que las raciones para animales deben, en general, guardar un bajo precio. Como se señalara, sin embargo, ésta representa otra alternativa para el uso del frijol endurecido.

#### BIBLIOGRAFIA

1. **Evaluación Nutricional de la Población de Centro América y Panamá. Guatemala.** Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP); Oficina de Investigaciones Internacionales de los Institutos Nacionales de Salud (EEUU); Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala. Guatemala, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 1969, 136 p. más Apéndices A-E.
2. Molina, M. R., G. de la Fuente & R. Bressani. Interrelaciones entre tiempo de remojo, tiempo de cocción, valor nutritivo y otras características del frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Arch. Latinoamer. Nutr.*, **24**: 469-483, 1974.
3. Ruiloba, E. de Freitas de. **Efecto de Diferentes Condiciones de Almacenamiento sobre las Características Físico-Químicas y Nutricionales del Frijol (*Phaseolus vulgaris*).** (Tesis de *Magister Scientifical* 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.
4. Molina, M. R. & R. Bressani. Factores de almacenamiento y procesamiento. Taninos. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, **27** (Suplemento 2): 78-84, 1977.
5. Molina, M. R., M. A. Baten, B. Axtell & R. Bressani. Alternativas para aumentar la disponibilidad y utilización del frijol negro (*Phaseolus vulgaris*). En: **Memoria de la XXV Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA)**. Vol. 3. Tegucigalpa, Honduras, Secretaría de Recursos Naturales, 1979, 12 p. (Trabajo L-17).
6. Moscoso, W. Efecto del almacenamiento a altas temperaturas y alta humedad sobre algunas características físicas y químicas del frijol. Presentado en el Simposio "El Problema del Endurecimiento del Frijol Común (*Phaseolus vulgaris*)", celebrado durante la **XXVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA)**, Santo Domingo, República Dominicana, marzo 23-27, 1981.
7. Morris, H. J. & E. R. Wood. Influence of moisture content on keeping

- quality of dry beans. **Food Technol.**, **22**: 336-338, 1956.
8. 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.
  9. Muneta P. The cooking time of dry beans after extended storage. **Food Technol.**, **18**: 1240-1241, 1964.
  10. Weston, W. J. & H. J. Morris. Hygroscopic equilibria of dry beans. **Food Technol.**, **8**: 353-355, 1954.
  11. Molina, M. R., F. Trent & R. Bressani. Studies on the biodeterioration of the black beans (*Phaseolus vulgaris*). Presentado en: **XXXVI Annual Meeting of the Institute of Food Technologists (IFT), Anaheim, California, June 6-9, 1976**.
  12. Bressani, R. & L. G. Elías. Legume foods. En: **New Protein Foods**. Vol. 1 A. (Technology). A. M. Altschul (Ed.). New York, N. Y., Academic Press, Inc., 1974, p. 230-297.
  13. Molina, M. R., G. de la Fuente & R. Bressani. Interrelationship between storage, soaking time, cooking time, nutritive value and other characteristics of the black bean (*Phaseolus vulgaris*). **J. Food Sci.**, **40**: 587-591, 1975.
  14. 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.
  15. Bressani, R., L. G. Elías & M. R. Molina. Algunos ejemplos de la industrialización de productos agrícolas a través de tecnologías intermedias. **Interciencia**, **2**: 281-287, 1977.
  16. Reed, G. (With a contribution by L. A. Underkifler). **Enzymes in Food Processing**. New York, N. Y., Academic Press, Inc., 1966, p. 186-192.
  17. Hamad, N. & J. J. Powers. Imbibition and pectic content of canned dry-lima beans. **Food Technol.**, **19**: 648-651, 1965.
  18. 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.
  19. Ory, R. L. Enzyme activities associated with protein bodies of seeds. En: **Symposium: Seed Proteins**. G. E. Inglett (Ed.). Westport, Conn., The AVI Publishing Co., Inc., 1972, p. 86-98.
  20. Mattson, S. The cookability of yellow peas. **Acta Agr. Suecana**, **2**: 185-231, 1946. (**Chem. Abstracts**, **42**: 4689d, 1948).
  21. Jay, J. M. **Modern Food Microbiology**. New York, N. Y., Reinhold Book Corporation, 1970, p. 1-6, 113-114.
  22. Lai, C. C. & E. Varriano-Marston. Studies on the characteristics of

- black bean starch. **J. Food Sci.**, **44**: 528-530, 1979.
23. Sefa-Dedeh, S. & D. W. Stanley. Textural implications of the micro-structure of legumes. **Food Technol.**, **33**: 77-83, 1979.
  24. Elías, L. G., D. G. de Fernández & R. Bressani. Possible effects of seed coat polyphenolics on the nutritional quality of bean protein. **J. Food Sci.**, **44**: 524-527, 1979.
  25. Vijaya Raghavan, G. S. & J. M. Harper. High temperature drying using a heated bed of granular salt. **Transactions of the ASAE**, **17**: 108-111, 1974.
  26. Rockland, L. B. & A. E. Metzler. Quick cooking lima and other dry beans. **Food Technol.**, **21**: 344-348, 1976.
  27. López, A. **A Complete Course in Canning**. 9th ed. Baltimore, Maryland, The Canning Trade, 1969, p. 183-190.
  28. Rockland, L. B. & T. F. 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.
  29. Bressani, R., J. E. Braham, L. G. Elías, R. Cuevas & M. R. Molina. Protein quality of a whole corn/whole soybean mixture processed by a simple extrusion cooker. **J. Food Sci.**, **43**: 1563-1565, 1978.
  30. Murillo, B., M. T. Cabezas & R. Bressani. Utilización del frijol (*Phaseolus vulgaris*) endurecido en dietas para pollos de engorde. En: **Memorias de la XXV Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA)**. Vol. 3. Tegucigalpa, Honduras, Secretaría de Recursos Naturales, 1979, 8 p. (Trabajo L-8).