

70
26
J



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUÍMICA

**"Estudio de las Características Reológicas
y Sensoriales de Tortillas de Maíz, Sorgo
y Mezclas de Maíz y Sorgo"**

Tesis Mancomunada

Que para obtener el Título de:

Químico Farmacéutico Biólogo

P R E S E N T A N :

Roberto Pérez Ramírez

Javier Rodríguez Méndez

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1988.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

En México, para la elaboración de tortillas, se utiliza el método tradicional de cocción alcalina del maíz conocido como "nixtamalización". Existen variantes al proceso tradicional que minimizan el consumo de energía y agua del proceso y que producen harinas precocidas de uso instantáneo. Sin embargo, las características sensoriales y reológicas (textura, enrollado y doblado) de las tortillas hechas con estas harinas no son las deseables por los consumidores.

Se ha empleado exitosamente a nivel laboratorio y prototipo a la extrusión como un método alternativo para producir harinas y masas de maíz, similares a las obtenidas por el proceso tradicional, que son aceptadas sin encontrar diferencias con los productos tradicionales por los consumidores.

Como en los últimos quince años ha habido la necesidad de importar maíz para consumo humano se han realizado estudios desde entonces para corroborar la posibilidad de emplear sorgo de producción nacional para extender los productos de maíz.

En este trabajo se estudió la extrusión de mezclas de maíz con sorgo empleando dos variedades, una de sorgo blanco (Blanco 36) y otra de sorgo colorido (variedad comercial de origen desconocido). Esta última fué perlada para eliminar la cascavilla y obtener el endospermo limpio, conocido como Kisel-ha (palabra de origen maya que significa esencia vital).

Se probaron las siguientes muestras: maíz 100% (M 100), sorgo blanco 100% (SB 100), sorgo colorido perlado 100% (SP 100) y las mezclas con las proporciones indicadas de maíz y sorgo maíz 35%-sorgo blanco 15% (M35-SB15), maíz 70%-sorgo blanco 30% (M70-SB30), maíz 60%-sorgo blanco 40% (M60-SB40), maíz 95%-sorgo perlado 15% (M95-SP15), maíz 70%-sorgo perlado

30% (M70-SP30) y maíz 60%-sorgo perlado 40% (M60-SP40).

Se realizaron análisis físicos de los granos (% de impurezas, peso del grano; peso hectolítrico y densidad relativa) y análisis químicos (fibra cruda, cenizas, proteína, grasa, contenido de calcio, presencia de taninos y ácidos grasos libres) siguiendo las metodologías estándar.

Se nixtamalizaron y extrudieron las muestras estudiadas siguiendo la metodología siguiente:

Para la nixtamalización se usó $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en una proporción de 1 gramo de cal por cada 100 gramos de muestra y se agregó agua a cubrir totalmente los granos. Se llevó a ebullición y se mantuvo hasta que la coloración del maíz cambió de naranja intenso a amarillo, con un tiempo de cocción de 25 min (proceso tradicional en algunas regiones del Valle de México). El tiempo de cocción fue, para el sorgo blanco de 20 min y para el sorgo perlado de 10 min. El grano cocido se dejó en reposo en las aguas de cocción (nejayote) por 11 a 12 horas, siendo lavado y secado en un secador de charolas al vacío, a 70°C con un vacío de $1.5 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ por 7 horas. Posteriormente, el material seco fue molido en un molino de martillos y las harinas almacenadas en refrigeración a 4°C .

Para la extrusión se molieron los granos en crudo en un molino de martillos a una granulometría de malla 20, se asperjó con agua hasta alcanzar una humedad promedio de 20% y se le adicionó cal en una proporción de 0.2 gramos de cal por cada 100 gramos de harina. Se empleó un extrusor fabricado en México que cuenta con una velocidad fija de rotación en el tornillo, dada por un motor de 30 HP. La salida es un cono que embona sobre el propio cilindro del extrusor y que es accionado por una palanca para permitir una mayor ó menor salida de material (bajando ó subiendo la temperatura de extrusión de a-

cuerto a la retropresión generada en la zona de extrusión).

Dado que el extrusor no cuenta con un sistema alimentador controlador de gasto no se puede definir con precisión el tiempo de retención en el sistema.

De acuerdo a estudios de ensayo y error se variaron las condiciones de operación hasta obtener harinas precocidas que tuvieron características sensoriales similares a las de los productos elaborados con maíz nixtamalizado en forma tradicional. Estas fueron: 0.2 gramos de cal por cada 100 gramos de harina, 20% de humedad, granulometría de las harinas crudas de malla 20, temperatura de extrusión de 160 °C con tiempos de retención cercanos a 1 min. Las harinas extrudidas fueron secadas para bajar su contenido de humedad en el mismo secador a las condiciones anteriores (70 °C y vacío de 1.5 Kg/cm²) pero solamente por 2 horas. Se removieron para cumplir con la granulometría de la norma mexicana para harina de maíz nixtamalizado y se almacenaron en refrigeración a 4 °C.

Se elaboraron masas y tortillas con las harinas y se evaluaron reológicamente y sensorialmente. Para las características reológicas se emplearon las harinas directamente en un viscoemilógrafo Brabender. Para las masas se usó un texturómetro Instron con una celda reversible de 500 Kg y el accesorio de retroextrusión y para las tortillas se empleó el mismo texturómetro con una celda de compresión de 2 Kg y el accesorio de punción tipo estrella. En ambos casos la velocidad de la celda y el graficador fue de 10 y 20 cm/min, respectivamente.

Para las características sensoriales se emplearon como parámetros subjetivos de evaluación textura (doblado y enrollado), sabor y consistencia en la masticación de las tortillas.

Las pruebas preliminares fueron hechas por los autores con

base en su experiencia y entrenamiento previo para formar parte de paneles de evaluación organoléptica. Para la evaluación final de las tortillas se empleó un panel de 10 jueces entrenados usando pruebas escalares hedónicas con calificación de 1 para excelente y 5 para pésimo, usando los mismos parámetros (textura, sabor y consistencia a la masticación). Se realizaron análisis estadísticos de los resultados y se aplicó la prueba de Duncan cuando se encontraron diferencias significativas al 5% de probabilidad entre las muestras. Se hizo finalmente una comparación de color entre las harinas crudas, nixtamalizadas y extrudidas, así como de las tortillas y de las harinas obtenidas de tortillas secadas y molidas usando las ecuaciones de Glasser y col. para correlacionar los parámetros de color L, a y b.

Las harinas se almacenaron a diferentes condiciones de temperatura para verificar fenómenos de estabilidad. Se usaron las temperaturas de refrigeración (4 °C), ambiente (22 °C) y 50 °C.

De los resultados obtenidos se concluye lo siguiente: Es posible extrudir maíz y sorgo (tanto blanco, como perlado) y sus mezclas para elaborar harinas precocidas que pueden usarse como las harinas obtenidas de granos nixtamalizados, obteniéndose tortillas tan buenas ó incluso mejores en lo que a textura se refiere que las de maíz nixtamalizado 100% (como fué el caso de las de sorgo blanco extrudido 100%).

Esto plantea la posibilidad de evitar la importación de maíz para consumo humano empleando al sorgo que es el segundo grano de importancia agronómica después del maíz, dejando para la importación granos de consumo forrajero ó usando fuentes no vedosas de forrajes como los esquilmos agropecuarios tratados.

La extrusión permite que las harinas puedan ser almacena-

das por tiempos más largos que sus contrapartes nixtamalizadas sin mostrar signos de rancidez.

El tiempo de proceso de la extrusión (1 min) es extraordinariamente menor al de nixtamalización y reposo, así como su consumo de agua, lo que permite a la extrusión ser enormemente accesible para su implementación industrial, tanto por los ahorros energéticos como de insumos.

Se encontró experimentalmente, que si las masas de harinas nixtamalizadas son sometidas a un proceso de abrasión adicional en un molino de piedra puede mejorar la calidad reológica de estas y de las tortillas que se elaboren con ellas.

I N D I C E

	Página
I. Introducción	1
1.1 Objetivos	11
II. Generalidades	
2.1 Maíz	
2.1.1 Descripción general	12
2.1.2 Composición química	15
2.1.3 Usos	16
2.2 Sorgo	
2.2.1 Descripción general	20
2.2.2 Composición química	22
2.2.3 Usos	24
2.3 Introducción del sorgo en la elaboración de tortillas	25
2.4 Métodos de cocción para maíz y sorgo	
2.4.1 Nixtamlización	27
2.4.2 Extrusión	33
2.5 Gelatinización y retrogradación	41
III. Materiales y Métodos	
3.1 Materias primas	44
3.2 Análisis físico de los granos	44
3.3 Nixtamalización	45
3.4 Extrusión	46
3.5 Análisis químicos	52
3.6 Indices de absorción y solubilidad en agua	52
3.7 Elaboración de tortillas	52
3.8 Pruebas reológicas	52
3.9 Análisis sensorial	53
3.10 Análisis estadístico	54

3.11 Análisis de color	54
IV. Resultados y Discusión	55
V. Conclusiones	87
VI. Agradecimientos	90
VII. Bibliografía	91
VIII. Apéndice	102

I. INTRODUCCION

La agricultura representó para el hombre que pobló el continente americano un cambio muy importante en su vida, ya que pasó de ser un hombre nómada a ser un hombre sedentario.

Las culturas que se desarrollaron en Mesoamérica (Azteca, Maya e Inca principalmente) tuvieron como principal cultivo al maíz, al cual llegaron inclusive a divinizarlo. Así, Cinteotl fué la diosa azteca del maíz y Yum Kaax la diosa maya del maíz y la agricultura.

El maíz se ha usado tradicionalmente desde entonces en México para la producción de alimentos de consumo básico y la forma más generalizada de consumirlo es la tortilla.

Para la elaboración de tortillas en nuestro país, se utiliza el método tradicional conocido como "nixtamalización" o "mezcuizado" (derivado del Náhuatl nextli: cenizas de cal, y temalli: masa de maíz), que involucra una cocción alcalina empleando una lechada de cal. Este método ha sido descrito y estudiado por varios autores (Illescas, 1943; Bressani y col., 1958; Del Valle, 1972; Katz y col., 1974).

El proceso tradicional para la elaboración de tortillas no había sufrido ninguna modificación desde épocas precolombinas, hasta que hizo su aparición en el año de 1959 la fabricación de harina de maíz nixtamalizado como respuesta al problema de la conservación de la masa de nixtamal que, en unas cuantas horas, resulta no apta para el consumo humano. El proceso de producción de harinas es similar al que emplean los molinos de nixtemal, desde la limpieza hasta la molienda, salvo que en las plantas a gran escala han sustituido las tinas por cocederos de flujo continuo (como los que emplea CCMASUPO) y que, ha incluido la peletización del nixtemal mediante extrusión en la

etapa posterior al lavado para disminuir el tiempo de secado.

La fabricación de harina de maíz nixtamalizado se da como una respuesta al problema de conservación de la masa, pero presenta otro, ya que al rehidratar a las harinas se obtienen masas faltas de cohesividad, por lo cual producen tortillas de características reológicas de enrollado y doblado no deseables para los consumidores.

Como una alternativa al proceso de fabricación de harina de maíz nixtamalizado surge el proceso de extrusión (Bazúa et al, 1976; Durán, 1976; Guerra, 1978; Bazúa et al, 1979; Durán y Guerra, 1980; Guerra et al, 1983; Saldaña, 1987), con el fin de producir una harina precocida que sea adecuada para la elaboración de tortillas de buenas características.

La extrusión como proceso inicialmente sólo tenía aplicación en la industria de los plásticos, pero después resultó ser un método económico para gelatinizar cereales, siendo las pastas los primeros productos extrudidos, para las cuales simplemente se mezclaba harina de semolina con agua y/o vapor y se pasaba a través de una boquilla a alta presión.

Actualmente la extrusión es un método muy versátil de cocimiento que consta de una gran capacidad de producción y la cual muestra una amplia extensión en la utilización de ingredientes, en la textura, forma y densidades de los productos, las cuales pueden ser controladas variando las condiciones del proceso (Mustakas et al, 1970). El procesamiento de alimentos por extrusión a alta temperatura y corto tiempo (HT-ST, High Temperature-Short Time), resulta de gran beneficio para los alimentos, ya que se pueden desnaturalizar enzimas que causan oxidación en las grasas, inactivar factores antinutricionales como los inhibidores de tripsina en soya, se destruyen mi-

croorganismos presentes en los materiales alimentados producen así un alimento casi estéril, garantizando con ésto una buena vida de anaerobio.

El precocimiento de almidones por HT-ST puede mejorar la digestibilidad de los alimentos, ya sea por la "gelatinización" de los almidones o por el tratamiento térmico de las proteínas, al mismo tiempo que se minimiza las pérdidas en el contenido de vitaminas (Jansen et al, 1978; Thompson et al, 1976).

Para la población mexicana, el maíz representa la fuente energética más importante en su dieta debido, tanto a la presencia de carbohidratos como a la grasa presente en el germen. Por otro lado, las familias de escasos recursos han hecho de éste cereal junto con el frijol, el cual representa su suministro de proteínas (Bonfil, 1984), su fuente principal de consumo. Sin embargo, se sabe que la población ubicada en el centro y sur de México no alcanza a cubrir el mínimo de alimentos energéticos necesarios, por lo que se hace necesario la búsqueda de otras alternativas que puedan cubrir esta necesidad.

En los últimos años las políticas agrícolas han sufrido una serie de fracasos que se han achacado a los factores siguientes:

- a) Una demanda superior con respecto a la producción de granos básicos, debido tanto al aumento de la población como a que no se hayan abierto nuevas áreas de cultivo.
- b) Utilización de áreas de cultivo tradicionalmente empleadas en la producción del maíz, por otros cultivos que le proporcionen más altos rendimientos por hectárea al campesino.

Uno de los cereales que ha desplazado en gran parte al maíz es el sorgo que, sin embargo, no es empleado en la alimentación humana como sucede en otros países. En México sólo se

le utiliza en la elaboración de alimentos balanceados para animales, pese a ser más barato y tener una composición similar a la del maíz, al que puede complementar como fuente energética. (Betanzos, 1970, 1974; Durán y Venado, 1977; Rizley y Suter, 1977; Rodríguez y Ruano, 1977; Bazúa y col., 1976; Alarcón y col., 1979, 1985). Posiblemente esto se deba a la presencia de compuestos antinutricionales en algunas variedades de sorgos, que han creado falacias sobre su posible aprovechamiento y utilización directa en la alimentación humana.

En las tablas 1, 2 y 3 pueden observarse el consumo per capita, consumo nacional aparente y evolución de los precios de garantía del maíz y sorgo en los últimos años.

Debido a que la producción de maíz no satisface la demanda interna del país, a pesar de que en los últimos años se han alcanzado producciones elevadas y que desde 1974 no se exporta (figs 1-1 y 1-2), el gobierno se ha visto en la necesidad de importarlo.

Por otra parte, si ambos cereales se usaran para consumo humano directo, no sería necesario importar maíz para este propósito ya que como puede verse en la figura 1-1 la producción de sorgo supera la importación de maíz, pudiéndose utilizar el sorgo sobrante en la elaboración de alimentos balanceados o bien plantearse nuevas alternativas para la producción de estos, como sería el reaprovechamiento de esquilmos agrícolas, o bien en el último de los casos, que se importara más sorgo por parte de las industrias que se dedican a producir este tipo de alimentos.

Con la finalidad de eliminar compuestos antinutricionales (polifenoles) que se encuentran principalmente en la testa y pericarpio del sorgo, se ha desarrollado el proceso de perlado

Tabla 1. Consumo per capita de maíz y sorgo.

AÑO	MAIZ (Kg/persona)	SORGO (Kg/persona)
1980	239.0	100.0
1981	246.0	122.0
1982	144.0	89.0
1983	236.0	109.0
1984	198.0	94.0
1985	196.0	102.0
1986	196.0	86.0

Fuente: El Sector Alimentario en México, 1986. INEGI.

Tabla 2. Consumo nacional aparente de maíz y sorgo 1980-1986.
(toneladas).

AÑO	MAÍZ	SORGO
1980	15 719 779 <u>a/</u>	5 503 285
1981	15 945 301 <u>b/</u>	7 013 890 <u>e/</u>
1982	13 578 836	6 941 871 <u>f/</u>
1983	16 735 461	3 297 004 <u>g/</u>
1984	16 462 102	7 015 233
1985	15 511 317 <u>c/</u>	9 818 238
1987	15 690 471 <u>d/</u>	8 937 499 <u>h/</u>

a/ Incluye 198 642 toneladas de maíz importadas por la industria

b/ Incluye 21 958 " " " " " " "

c/ Incluye 141 783 " " " " " " "

d/ No incluye las estimaciones hechas por la industria.

e/ Incluye 795 030 toneladas de sorgo importadas por la industria.

f/ Incluye 609 203 " " " " " "

g/ Incluye 538 178 " " " " " "

h/ No incluye las estimaciones hechas por la industria.

Fuente: CONASUPO. Prontuario operativo 1985-1986.

Tabla 3. Evolución de los precios de garantía de maíz y sorgo 1980-1986 (Pesos/toneladas).

AÑO	MAIZ	SORGO
1980	4 450	2 900
1981	6 550	3 930
1982	8 850	5 200
1983 o-i	16 000	10 500
p-v	19 200	12 600 +
1984 o-i	25 500	19 000
p-v	39 450	23 000
1985 o-i	43 500	28 700
p-v	53 300	32 000
1986 o-i	75 000	50 000
p-v	96 000	----

+ A este precio se le adicionan \$ 1 000.00 por tonelada de bonificación.

o-i: Ciclo agrícola otoño-invierno.

p-v: Ciclo agrícola primavera-verano.

Fuente: El Sector Alimentario en México, 1986. INEGI.

FIGURA 1-1

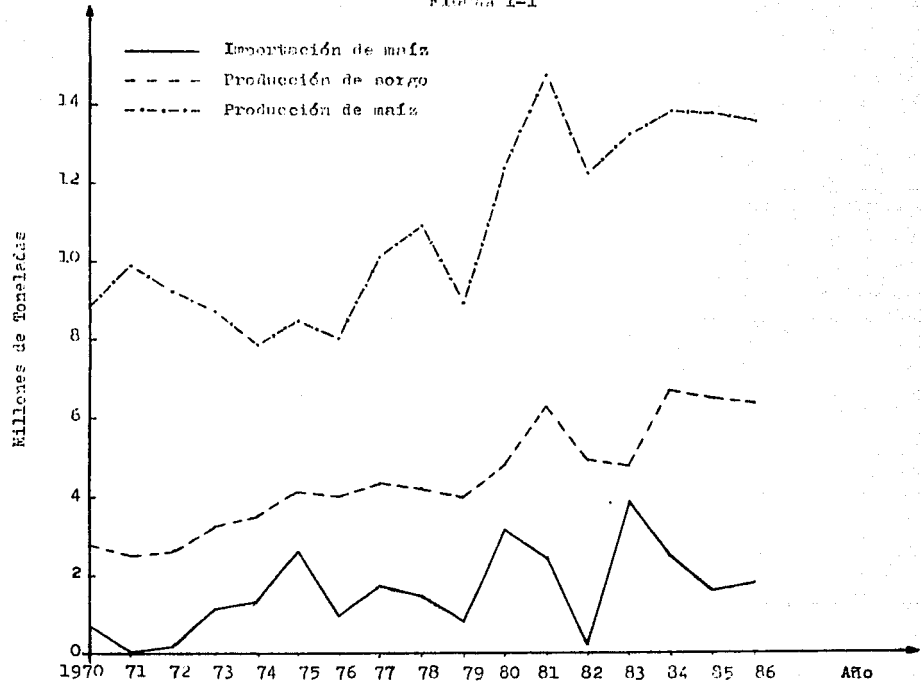
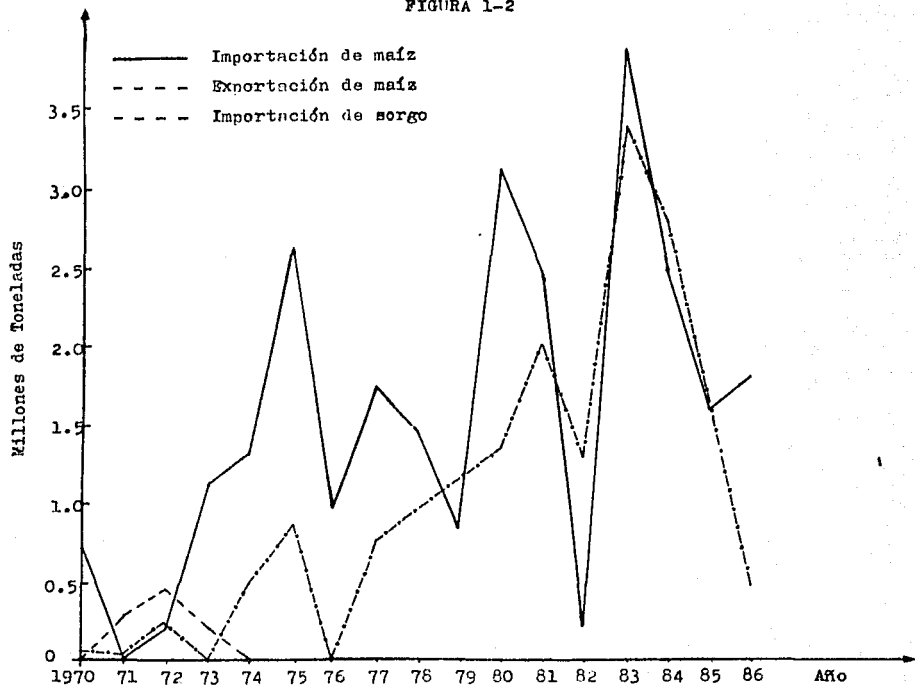


FIGURA 1-2



mediante el cual son eliminadas estas fracciones (Iaso y Núñez, 1982). Por otra parte, en los últimos años se han producido algunas variedades mejoradas genéticamente como es el caso del sorgo "Blanco 86", el cual carece de testa y se encuentra libre de taninos (SARH, 1987).

En este trabajo, se realiza una comparación entre los procesos de nixtamalización y de extrusión en la elaboración de harinas precocidas para hacer tortillas, utilizando maíz, sorgo blanco, sorgo perlado y sus mezclas.

1.1 OBJETIVOS

Los objetivos perseguidos en este trabajo son los siguientes:

1. Determinar las condiciones idóneas del material de alimentación al extrusor, para producir harinas precocidas que permitan obtener una masa de características similares a las nixtamalizadas para elaborar tortillas.
2. Extensión del maíz empleando sorgo para la elaboración de tortillas.
3. Evaluación de las características sensoriales de las tortillas obtenidas con las harinas extrudidas, comparándolas con sus contrapartes nixtamalizadas.
4. Llevar a cabo pruebas de almacenamiento que permitan verificar la vida de anaquel de las harinas obtenidas.

II. GENERALIDADES

2.1 MAÍZ

2.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El maíz es una planta originaria de América y fue el único cereal cultivado por la mayoría de los indígenas del continente desde tiempos inmemoriales.

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas, al género *Zea mays* L, el cual cuenta con una sola especie, pero se tienen diferentes variedades que difieren principalmente en la estructura de la semilla y son enumeradas a continuación (Matz, 1959; Winton, 1950):

- Maíz palomero.
- Maíz duro.
- Maíz dentado.
- Maíz harinoso ó suave.
- Maíz harinoso dulce.
- Maíz envainado ó tunicado.

El maíz es una planta herbácea que generalmente alcanza de dos a tres metros de altura, con raíz fasciculada, tallo recto formado por camitos cilíndricos de mayor a menor diámetro unidos por nudos de los cuales nacen las hojas a uno y otro lado (Matz, 1959), clasificándose como alternas, envainantes, ásperas y velludas, cintiformes, con nervaduras sensiblemente paralelas y miden aproximadamente 1 metro. Como en toda planta monoica, sus flores son unisexuales, encontrándose en diferentes espigas. Las masculinas aparecen antes que las femeninas y se localizan en la extremidad del tallo, denominándose panoja por la forma que adopta la inflorescencia, constituidas por espigas unidas a un eje en orden alterno formando un

ramillete (fig 2-1). Las femeninas están formadas por una espiga gruesa que nace siempre en los nudos, las partes florales están insertadas de dos en dos filas a lo largo del eje de la espiga, y llevan seis envolturas que protegen al ovario el que se continúa con un largo estilo (cabellito de elote), y toda la espiga está cubierta por brácteas.

La mazorca está constituida por el carozo, los granos y las brácteas. El carozo es un eje cilíndrico cubierto de celdillas en hileras, entre las cuales se insertan los granos; las brácteas son hojas modificadas que envuelven a la mazorca y son ásperas, fibrosas, elásticas e impermeables. La primera capa que cubre a los granos es muy fina y por grados va perdiendo elasticidad y finura (Lanverde, 1949).

Estructuralmente, el grano está formado por cuatro partes principales:

- Capa superficial. Aquí se encuentra la aleurona que contiene 28% de grasa y proteína. Esta capa que, morfológicamente forma parte del endospermo, rodea sólo la parte almidonosa y linda con el escutelo. Esta y todas las capas más externas a ella constituyen el salvado, un importante producto secundario en la fabricación de harina de maíz.
- Pericarpio ó cascarilla. El pericarpio tiene gran contenido de fibra cruda, las capas externas frecuentemente se desprenden durante la limpieza, acondicionamiento o molienda.
- Germen. En esta parte del grano de maíz se encuentra la mayor cantidad de lípidos y nutrimentos que se movilizan durante la germinación.
- Endospermo. El endospermo contiene alrededor del 27% del almidón y su textura varía dependiendo del tipo de éste, el cual puede ser harinoso o suave que constituye el 54% en peso y

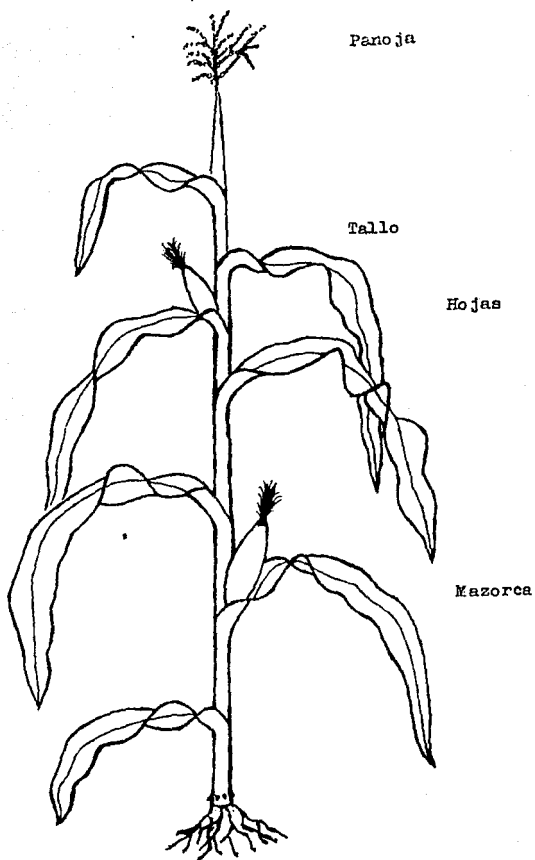


FIGURA 2-1. Morfología de la planta de maíz.

el endospermo vítreo que forma el 46% en peso. Dicha proporción varía considerablemente dependiendo de la variedad del maíz.

2.1.2 COMPOSICION QUIMICA

- a) Almidón. El almidón es el mayor constituyente químico del maíz y es un polímero de la glucosa que presenta enlaces de tipo alfa 1-4 y alfa 1-6. Se encuentra en dos formas: Amilosa de cadena recta y amilopectina de cadena ramificada, en una proporción de 27:73, respectivamente. Esta proporción depende de la variedad de maíz.
- b) Proteína. Sus proteínas son generalmente deficientes en los aminoácidos siguientes: lisina y metionina, siendo la glutelina de un valor y contenido de lisina mayor (el aminoácido más deficiente en el maíz). Este se ha incrementado en la variedad Opaco 2 (Mertz y col., 1964) donde el endospermo que representa el 80% del peso del grano, lleva el 70% de la proteína (Guerra, 1978).
- c) Lípidos. El contenido graso del maíz es de 4-6%. Grasas, ceras, fosfolípidos, cerebrósidos, esteroides, carotenoides y xantofilas constituyen los lípidos. El 85% de estos se encuentra en el germen, que es la fuente de aceite comercial del maíz, con un alto contenido de ácidos grasos insaturados.
- d) Carbohidratos menores. El contenido de azúcares varía de 1-3%, siendo la sacarosa el principal constituyente, con algo de glucosa, fructosa y rafinosa.
La fibra cruda se encuentra entre 2.1-2.3%, encontrándose en el pericarpio del 41-46% del total.
- e) Minerales. Un 95% de la materia mineral de los cereales es-

tá formada por fosfatos y sulfatos de magnesio, potasio y calcio. El 80% de ellos se localizan en el germen.

Es bajo en calcio, pero esta diferencia se compensa en el caso de las tortillas, por el cocimiento alcalino. El 50% del fósforo se encuentra como fitato disponible.

- f) Vitaminas. Todas las vitaminas solubles en agua conocidas están presentes. La niacina sólo se encuentra después del tratamiento alcalino (29.5 mg/kg).

2.1.3 USOS

El maíz se usa para alimentación humana no sólo en México y Centroamérica, sino en todo el mundo.

Puede consumirse tostado, en forma de palomitas (en Náhuatl, Izquitl). El maíz palomero tiene partes duras que rodean al grano, la cutícula, y que explotan debido a la presión de vapor que se genera dentro del mismo. Se consume también hervido, en mazorca (elote) o en forma de grano (mal traducido como "ezquite"). Además, suele molerse el grano cocido utilizando molinos de piedra; se puede remojar o cocer con álcali antes de la molienda y la masa resultante se utiliza para producir tortillas. Es una fuente de carbohidratos para la producción de bebidas alcohólicas, sobre todo de tipo tradicional (tezuino, chicha, etc.).

En Africa, todo el maíz producido se utiliza para alimentación humana. En Nigeria, el maíz se consume hervido o tostado, o bien en forma de "ogi" (maíz remojado por varios días, lavado, molido y se elimina la cáscara, se vuelve a hervir para comerse caliente, también se le conoce como "eko" y "pap", siendo muy común entre los Yorubas). Cuando se cuece envuelto en hojas de plátano se conoce como "agidi". En Ghana se consume en forma de "kenkey" (tamal fermentado).

En Kenya, se produce harina "posho" y las partículas gruesas una vez cocidas se les conoce como "chenfa".

En Sudáfrica se come como un producto de fermentación láctica llamado "Ma hewa" y también como cerveza "Kaffer". En Centro y Sudamérica el maíz tuvo influencia religiosa. En estas regiones se le da el tratamiento alcalino (aunque no en todas) para eliminar la cascarilla, pero además le da el sabor característico y la textura física necesaria. Después de cocer el maíz en álcali se lava con agua para eliminar la cascarilla y el exceso de álcali. Al maíz pelado y cocido se le llama nixtamal (de nextli: cenizas de cal y tamalli: masa de maíz).

También se produce harina de maíz que se consume en forma de masa cocida, tamales. Como bebida se consume en forma de atole, chicha dulce colada, azúa o chicha zora, siendo estas dos últimas bebidas alcohólicas.

En molinos modernos se elimina el germen y la cáscara para obtener harina, alimento de maíz, forraje maicero, hojuelas de maíz y aceite.

A partir de él también se elaboran: pan, jarabes, almidón, pinole, glucosa y otros productos.

Tabla 4. Análisis aproximado de granos de sorgo y maíz.

COMPONENTES	SORGO	MAÍZ
Componentes mayores		
Extracto no nitrogenado	80.00	81.50
Extracto etéreo	3.70	4.50
Fibra cruda	1.90	2.30
Cenizas	1.90	1.40
Proteína ²	12.30	10.30
Aminoácidos (% de la proteína)		
Ac. aspártico	6.00	7.00
Ac. glutámico	21.50	17.90
Alanina	9.50	7.90
Arginina	2.80	3.70
Cistina	1.10	1.70
Fenilalanina	5.00	4.60
Glicina	3.30	3.20
Histidina	2.20	2.50
Isoleucina	3.90	3.40
Leucina	4.40	12.20
Lisina	2.10	2.60
Metionina	1.50	1.40
Prolina	8.10	8.30
Serina	4.80	3.20
Tirosina	1.60	2.20
Treonina	3.20	2.90
Triptofano	1.00	2.20
Valina	5.20	4.60
Minerales		
Calcio (%)	0.02	0.02
Cobre (mg/kg)	5.40	10.50
Fósforo (%)	0.49	0.32
Hierro (mg/kg)	67.00	30.00
Magnesio (%)	0.18	0.17
Manganeso (mg/kg)	21.00	20.00
Potasio (%)	0.40	0.35
Silicio (%)	0.20	0.02
Sodio (%)	0.02	0.01
Zinc (mg/kg)	13.70	13.40

Tabla 4. Continua...

COMPONENTES	SORGO	MAIZ
Vitaminas (mg/kg) ³		
Ac. fólico	0.20	0.20
Ac. pantoténico	10.40	5.00
Biotina	0.20	0.06
Colina	420.00	537.00
Niacina	45.30	23.00
Piridoxina	4.70	7.00
Riboflavina	1.30	1.00
Tiamina	3.30	4.00
Vit. A (carotenos)	-	4.10
Vit. E (tocoferoles)	-	3.00

1/ Porcentaje en base seca.

2/ Factor de conversión igual a 6.25

3/ mg/kg de sustancia seca.

Fuente: Primo, 1979.

2.2 SORGO

2.2.1 DESCRIPCION GENERAL

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es uno de los cereales más cultivados en el mundo y remonta sus orígenes a muchos años atrás.

Se tienen algunos indicios de que es originario de Africa Oriental (probablemente de Etiopía o Sudán) y que hizo su aparición desde épocas prehistóricas.

El testimonio más antiguo de su existencia se encuentra en una escultura de los Asirios que lo representa y que data del año 700 a.c.

En los comienzos de la era cristiana fué introducido en la India y Europa.

En el continente americano se introdujo alrededor de 1874, por medio del comercio de esclavos (Hulse et al., 1980).

Fué traído a México en el año de 1944 por la Oficina de Estudios Especiales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, de variedades producida en Estados Unidos, con la finalidad de trabajarlo en áreas donde la precipitación pluvial era escasa, y por lo tanto se obtenían rendimientos pobres en otros cultivos.

El sorgo es muy resistente a la deshidratación debido a que posee un sistema radicular fibroso muy extenso, tiene un sistema transpiratorio eficaz y posee características foliares de las xerofitas, que retardan la pérdida de agua de la planta (Wall y Ross, 1975).

Cada una de las flores presenta órganos masculinos y femeninos y pueden autopolinizarse. El número de semillas en cada panícula varía de 800 a 3 000.

La semilla se encuentra cubierta en su capa externa por

glumas que pueden ser desde café claro hasta rojo o púrpura, debido a la presencia de pigmentos fenólicos.

El grano es un cariósipide desnudo que puede variar de 3 a 50 mg de peso por grano, su tamaño y forma van a depender de la variedad a que pertenezcan.

La cariósipide se encuentra formada de tres partes principales: la cubierta exterior llamada pericarpio, el cual representa del 6 al 8% del peso del grano, el tejido de almacenamiento ó endospermo que constituye del 80 al 82% y el embrión o germen que representa del 10 al 12% del grano (Rooney y Miller, 1982).

El pericarpio se origina en la pared del ovario y se divide en epicarpio, mesocarpio y endocarpio. La capa externa corresponde al epicarpio y contiene pigmentos y ceras; la capa intermedia o mesocarpio está compuesta generalmente de pequeños gránulos de almidón, aunque se puede dar el caso de encontrar algunos sorgos con mesocarpio muy delgado que no poseen estos gránulos. Los sorgos con mesocarpio delgado resisten mejor las condiciones ambientales adversas y producen, además, rendimientos de molienda mayores (Rooney y Miller, 1982).

La porción interna del pericarpio recibe el nombre de endocarpio, y se encuentra formada por capas de células transversales y tubulares. Una de las funciones más importantes de estas células es el transporte de humedad.

Abajo del pericarpio algunos sorgos presentan una capa altamente pigmentada que recibe el nombre de testa. La testa fué originalmente el integumento interno y tenía una estructura definida. Sin embargo, a medida que la semilla maduraba y el endospermo se expandía, la antigua configuración celular dió lugar a una capa continua (Rooney y Sullins, 1977). La

pigmentación de la testa está relacionada con una concentración elevada de polifenoles.

El endospermo se encuentra formado por una capa de aleurona y una parte de endospermo amiláceo. La capa de aleurona es una capa espesa de células, las cuales contienen grandes cantidades de minerales, vitaminas hidrosolubles, enzimas autolíticas, aceite y cuerpos esféricos con proteína, fitina y minerales.

El endospermo amiláceo consta de una capa de subaleurona periférica con porciones cristalinas y harinosas (Watson, 1975).

El área periférica del endospermo es caracterizada por la acumulación de pequeños bloques de células con gran cantidad de proteína asociada con pequeños gránulos de almidón. La unión del almidón y la proteína es fuerte, por lo que esta región tiene una consistencia dura y una apariencia vítrea.

La estructura del endospermo harinoso se asemeja a un panal de abeja, en la cual el gránulo de almidón está cubierto por una matriz proteica y la proporción de almidón disminuye su concentración de la periferia hacia el centro del grano.

El embrión o germen está constituido por el eje embrionario y el escutelo, es la parte encargada de la germinación y producción de la nueva planta (Rooney y Miller, 1982; Wall et al, 1975).

2.2.2 COMPOSICION QUIMICA

La composición química del grano de sorgo es muy similar a la del maíz (*Zea mays*) como puede observarse en la tabla 4, siendo más variables la del sorgo, debido a que se cultiva bajo condiciones más variables que cualquier otro cereal.

a) Proteínas. Las proteínas del sorgo las constituyen las albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. Las albúmi-

nas y globulinas se localizan principalmente en el germen, la capa de aleurona y pericarpio, y es donde se encuentra la mayor parte de lisina. Las prolaminas del sorgo se conocen como "Fafirina" y presentan altos porcentajes de ácido glutámico y de otros aminoácidos no volátiles, siendo deficientes en lisina y metionina; esta fracción se relaciona en forma directa con el contenido de proteína. La fracción de las glutelinas es el principal constituyente de la matriz proteica del endospermo del sorgo (Rooney et al., 1980).

- b) **Lípidos.** La grasa del sorgo está concentrada en el germen, pericarpio y capa de aleurona en un nivel aproximado del 3.5%. El germen contiene el 79% de la grasa total. La composición de los ácidos grasos consiste principalmente de ácidos: linoleico, oleico, palmítico, esteárico y linoléico (Rooney et al., 1980).
- c) **Carbohidratos.** El almidón, celulosa, azúcares simples y pentosanas constituyen aproximadamente el 80% del peso seco de la semilla de sorgo, conteniendo usualmente 70 a 75% de almidón. Este último se encuentra compuesto de 20 a 30% de amilosa y de 70 a 80% de amilopectina.

Entre los azúcares que se encuentran presentes se pueden mencionar a la dextrosa, sacarosa y fructosa principalmente.

- d) **Pigmentos.** El sorgo contiene principalmente dos tipos de pigmentos, que son los carotenoides y los polifenoles. Los primeros se encuentran presentes en muy pequeñas cantidades.

El grupo de los polifenoles incluye diversos compuestos, tales como flavonoides, antocianidinas, leucoantocia-

nidinas y taninos condensados.

Los taninos condensados reducen el valor nutritivo del sorgo, debido a la interacción que tienen con las proteínas, impidiendo la acción de las enzimas digestivas a la vez que disminuyen la disponibilidad de los carbohidratos (Rooney et al., 1980).

Los sorgos sin testa pigmentada no contienen taninos, ni condensados ni tampoco hidrolizables (SARH, 1987), por lo que no presentan el problema de precipitar las proteínas. Sin embargo, pueden contener otro tipo de polifenoles que son causantes de la aparición de colores oscuros durante su procesamiento, especialmente cuando son sometidos a tratamientos alcalinos (Rooney y Sullins, 1977).

2.2.3 USOS

En América Central, Asia y África el sorgo ha adquirido gran importancia substituyendo al maíz como fuente alimenticia donde es un cultivo básico.

En algunos países de Centroamérica el sorgo se usa sólo ó en mezclas con maíz para producir tortillas, sobre todo cuando el abastecimiento de maíz es bajo (Bedolla et al., 1982; Futrell y Robert, 1982; House, 1982; Khan et al., 1980). En México se utiliza como forraje y en la preparación de concentrados alimenticios para ganados y aves de corral (Cejudo, 1978).

Existen un gran número de alimentos a base de sorgo y que son consumidos comúnmente en países como la India y algunos de África. Entre los más importantes podemos citar al "ogi" el cual, como ya se mencionó para el maíz, se prepara hirviendo sorgo fermentado, molido y tamizado (Hulse et al., 1980), y que representa el uso alimenticio más importante del sorgo en Nigeria (Rooney et al., 1980; Silva, 1983); el "chapati", que

es un pan sin levadura consumido en la India (Desikachar, 1977; House et al., 1982; Hulse et al., 1980; Rooney et al., 1980; Silva 1983); el "ugali", el cual es una bola de pasta de harina de sorgo sola ó mezclada con maíz (Rooney et al., 1980; Silva 1983); y el "tuwo", consumido en Nigeria, que es un atole solidificado de sorgo (Wall y Ross, 1975).

En Africa se utiliza el sorgo, tanto malteado como sin maltear, en una amplia variedad de bebidas. Una de las principales es la cerveza de sorgo, cuyo valor nutritivo es más alto que el de la mayoría de las otras cervezas debido a las levaduras y otros materiales suspendidos (House, 1982; Novellie, 1977).

Del almidón de sorgo se obtienen derivados como dialdehído utilizado en la elaboración de papeles de alta resistencia, el curtido de pieles y en la fabricación de pinturas. Tratando los dialdehídos del almidón con ácido cloroso, se obtienen almidones dicarbóxicos que son derivados que no gelifican y pueden emplearse en la fabricación de pinturas, papeles, tejidos, cosméticos y productos alimenticios.

Aparte de estas aplicaciones, en las industrias de fermentación tiene un campo muy amplio ya que puede utilizarse para la producción de penicilina, dextrana, riboflavina, vitamina B₁₂, amilasa, giberelina y derivados ácidos.

2.3 INTRODUCCION DEL SORGO EN LA ELABORACION DE TORTILLAS

Los problemas de producción en el campo y el aumento de la población en México han dado como resultado que la demanda de cereales básicos, tales como el maíz, no logre cubrirse con la producción nacional, por lo que el país tiene que recurrir a importaciones. Una alternativa para solucionar este proble-

ma ha sido buscar otros cereales que estén disponibles para sustituir al maíz en alimentos de consumo común, como es el caso de las tortillas. Uno de los cereales en el que se ha pensado como alternativa para sustituir parcialmente al maíz, en la elaboración de tortillas, es el sorgo. Se pensó en el sorgo debido a que este grano tiene una composición muy similar a la del maíz, además de que produce mayor cantidad de grano por hectárea bajo condiciones adversas, comparado con otros cereales.

En los últimos 15 años se han realizado investigaciones tendientes a evaluar la calidad reológica y sensorial de las tortillas elaboradas con sorgo y mezclas de maíz-sorgo.

En estudios realizados por Risley y Suter (1977), Alarcón y col. (1979), obtuvieron resultados que indican que es posible hacer tortillas de sorgo, modificando la forma tradicional en que se procesa el maíz (nixtamalización), aunque el color es un factor determinante para su aceptabilidad.

Bedolla et al. (1982), reporta que el parcial o completo reemplazamiento de sorgo por maíz es practicado en América Central. Sólo que uno de los problemas que presenta es el color indeseable producido durante el tratamiento alcalino, debido a la presencia de polifenoles en el grano de sorgo.

Actualmente, la decorticación del sorgo está siendo desarrollada para remover estos compuestos y poder usar más ampliamente el sorgo para dicho propósito.

Estudios hechos por Alarcón y col. (1985), muestran la factibilidad de extender las tortillas con sorgo, nixtamalizando al maíz y sorgo simultáneamente, hasta una proporción de 85% de maíz con 15% de sorgo, sin modificar considerablemente las características organolépticas de las masas y tortillas ob

tenidas.

Existen otras investigaciones realizadas por Nieto y col. (1986), que plantean la posibilidad de usar sorgo perlado hasta una proporción de 40% de sorgo y 60% de maíz en la producción de masas y tortillas, siendo estos productos comparables a los de maíz desde el punto de vista reológico y sensorial.

Todos estos estudios abren una gran posibilidad para poder utilizar al sorgo para sustituir parcialmente al maíz en la elaboración de tortillas. Además, en la actualidad se están liberando sorgos genéticamente mejorados (sorgos blancos) que contienen cantidades mínimas de polifenoles y taninos, permitiendo obtener tortillas muy similares a las de maíz.

El uso del sorgo en las tortillas resulta atractivo por las razones siguientes:

- 1) El precio del sorgo es, generalmente, más bajo que el del maíz.
- 2) El sorgo puede ser cosechado en condiciones de sequía.
- 3) El sorgo da una mayor producción de tortillas por unidad de grano.
- 4) El valor nutricional del sorgo es similar al del maíz.

2.4 METODOS DE COCCION PARA MAIZ Y SORGO

A continuación se presenta una somera descripción de los métodos de cocción usados en éste trabajo, como resultado de su uso real en la industria o su potencial empleo al corto y mediano plazos.

2.4.1 NIXTAMALIZACION

La nixtamalización es un proceso mediante el cual el grano de maíz sufre una serie de cambios fisicoquímicos al cocerse en presencia de una lechada de cal durante un tiempo determinado (Illescas, 1943; Tueme, 1976).

En el proceso descrito por Illescas, el maíz se mezcla con el doble de su peso en agua y se agrega la cal en una proporción entre 1.5 y 3.5% en relación al peso del maíz. La mezcla se calienta hasta aproximadamente 80°C por un tiempo que varía de 25 a 45 minutos, dependiendo de la fuente de calor. Posteriormente, el grano se deja reposar durante un tiempo aproximado de 12 a 15 horas. Una vez realizada esta etapa, el pericarpio se encuentra parcialmente hidrolizado y separado del grano y el endospermo se encuentra hinchado y suave.

Cuando el nixtamal ó grano cocido presenta estas características, se separa del nejayote o agua de cocción de la operación (agua con cal) y se lava con agua para eliminar el exceso de cal. El nixtamal lavado se muele en molinos que transforma el maíz cocido en masa.

El proceso de nixtamalización, tal y como se lleva a cabo en las zonas rurales y la pequeña industria molinera, es altamente variable. Las variaciones se encuentran gobernadas por factores socioeconómicos y geográficos, la proporción agua-grano, la concentración de cal, el tiempo de cocimiento y la temperatura son definidas de acuerdo a los hábitos de la familia o a las especificaciones de proceso. La localización geográfica, el precio y la disponibilidad del maíz, o las especificaciones van a determinar la variedad de maíz usado (Del Valle, 1972).

Las ventajas de la nixtamalización son las siguientes:

- a) Desnaturalización de las proteínas del maíz, en especial de las glutelinas, lo que las hace más digeribles.
- b) Debido a que la mayor parte de la lisina y el triptofano se encuentra contenidos en la fracción de glutelinas, el tratamiento con cal acrecienta la disponibilidad biológica de

estos aminoácidos esenciales.

- c) La niacina, que se encuentra formando un compuesto polipeptídico (niacitina) en el maíz, compuesto que la hace biológicamente indisponible, se libera de dicho polipéptido por hidrólisis alcalina. Además, se aumenta la disponibilidad de triptofano y consecuentemente, los consumidores de la tortilla tendrán un mayor aporte indirecto de esta vitamina.
- d) Se obtiene un alimento más digerible por la pérdida de fibra cruda, ya que a pH alcalino (12.4) se hidrolizan las hemicelulosas del pericarpio (Bressani, 1972).
- e) El contenido de calcio en el grano nixtamalizado aumenta aproximadamente 4.5 veces con respecto al grano no tratado (640 y 140 mg/kg, respectivamente). Esto suple más del 50% de las necesidades nutritivas de calcio que van de 800 a 1 200 mg/día, dependiendo de la edad, sexo, peso y estatura del individuo. Cabe mencionar de que en las mujeres influye además el que estén o no embarazadas o en período de lactancia (Harper et al., 1977).
- f) La presencia de algunas sales disminuye la temperatura a la cual se inicia la gelatinización y la proporción en que se realiza la misma (Katz y Muschler, 1933). El almidón del maíz se gelatiniza en presencia de iones calcio o en medio alcalino a temperatura ambiente; estos cambios determinan las principales propiedades mecánicas de la masa del maíz gelatinizado.
- g) Durante la cocción y reposo del maíz se llevan a cabo cambios físicos y químicos en el grano. Los cambios físicos van a facilitar la molienda ya que los granos suaves permiten que los molinos de atricción consuman menos energía. Los cambios químicos mientras tanto, proporcionan una masa moldeable.

ble y fácil de manejar.

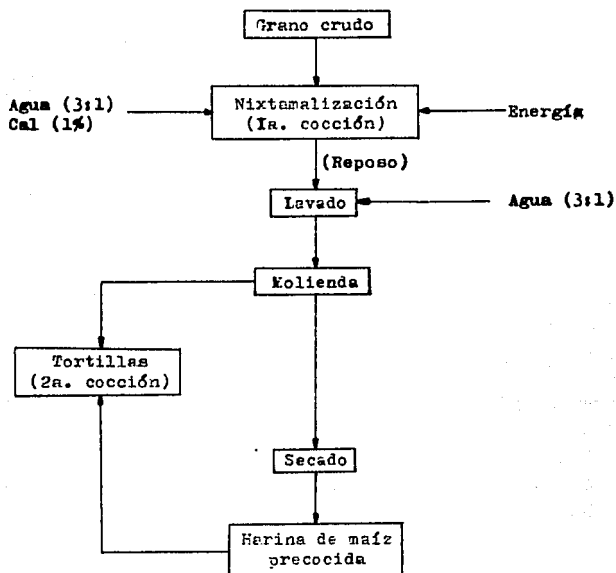
Entre las desventajas de la nixtamalización están:

- a) Pérdida de 3.5 a 4% en peso del maíz.
- b) Disminución global de los aminoácidos.
- c) Consumo de hasta 6:1 partes de agua.
- d) El proceso dura hasta 20 horas.
- e) Genera efluentes altamente contaminantes.

2.4.1.1 CAMBIOS FISICOQUÍMICOS DURANTE LA NIXTAMALIZACIÓN.

Los cambios fisicoquímicos que se suscitan en este proceso, se encuentran en sitios bien identificados en el grano, es tos son: el pericarpio, la aleurona y el endospermo, observándose reblandecimiento de cada una de las partes (Tueme, 1976).

- a) Cambios en el pericarpio. El pericarpio se encuentra formado de: hemicelulosa en mayor cantidad, celulosa y lignina. Debido a que la celulosa y lignina no se hidrolizan en soluciones alcalinas diluidas, estas quedan prácticamente intactas. Y como la hemicelulosa es un polímero de pentosas α -D xilosa con enlaces β 1-4, las cuales se desdoblan fácilmente en presencia de álcalis diluidos y, como la hemicelulosa es la que se encuentra en el pericarpio en mayor proporción, se considera que el nixtamal se encuentra listo cuando al tomar un grano y oprimirlo entre los dedos, el pericarpio se desprende. Esto supone una pérdida considerable de fibra cruda, haciendo así a la tortilla un alimento de textura suave.
- b) Cambios en el endospermo. En las primeras regiones del endospermo córneo se observa hinchamiento de los gránulos de almidón aumentando considerablemente el tamaño con la absorción de agua de los gránulos (gelatinización).



Tiempo total: 20 horas.

Consumo de agua: 6:l

Consumo de energía: 1a. y 2a. cocciones (molienda y secado).

FIGURA 2-2. Diagrama esquemático del proceso de nixtamalización (Bazúa y Guerra, 1980).

2.4.1.2 HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.

A grandes rasgos el proceso de obtención de harina de maíz nixtamalizado puede describirse como sigue:

- 1) El maíz pasa por una máquina limpiadora con el objeto de eliminar olotes, tamo y otras impurezas. En caso de que contenga más del 13% de humedad, debe pasar por una secadora para eliminar el exceso de ésta y así poder ser almacenado.
- 2) El grano limpio se pesa y envía a los cocedores en donde se realiza la maceración, agregando agua y cal. El nixtamal así producido se lava y elimina el nejayote, para después ser desintegrado por un molino de impacto.
- 3) El producto molido pasa a través de un secador a fin de reducir el grado de humedad; posteriormente, y antes de pasar a los cernidores, la harina es sometida a un enfriamiento.
- 4) Ya pasada por los cernidores, la harina es enviada a una tolva de almacenamiento, de donde se transporta a la sección de envasado y empaque.

En cuanto a la calidad del producto, éste debe cumplir las especificaciones de la Norma Oficial de la Dirección General de Normas para harina de maíz nixtamalizado.

Las ventajas del proceso son:

- a) Permite nixtamalizar grandes cantidades de maíz con su sistema de flujo continuo, con un cocimiento más uniforme.
- b) La deshidratación a altas temperaturas resulta en un mejor cocimiento del aceite y una mejor gelatinización del almidón, con lo que aumenta la absorción de agua del producto y su rendimiento.
- c) La molienda en molinos de martillos permite altas escalas de producción.
- d) La vida de anaquel de la harina es mucho mayor que el de la

masa.

- e) Posibilidad de enriquecimiento proteico o nutritivo o extensión con otros cereales.

Las desventajas del proceso son:

- a) Aumento del consumo de energía eléctrica y calorífica.
 b) Generación de efluentes contaminantes (negajote) en forma concentrada.
 c) Las características reológicas de la masa y de las tortillas resultantes no son tan aceptables como las de la masa fresca.

2.4.2 EXTRUSION

La extrusión es una operación que se define como el acto de texturizar o cocer un material al forzarlo a través de una boquilla o dabo, conduciendo al material a la boquilla por medio de un tornillo transportador; la palabra proviene del latín extrudere que significa "empujar hacia arriba". Este proceso a ocupado en la actualidad un lugar preponderante en las operaciones unitarias en la industria de los alimentos, aunque todavía se encuentra encaminada hacia la texturización de productos que a la cocción como tal (Rossen y Miller, 1973; Guerra, 1976).

2.4.2.1 CLASIFICACION

Los extrusores se pueden clasificar, desde el punto de vista termodinámico, en los siguiente grupos:

- a) Extrusores Autógenos (cuasi-adiabáticos), los cuales generan su propio calor por conversión de energía mecánica en el proceso de flujo. No requieren chaquetas intercambiadoras de calor.
 b) Extrusores Isotérmicos. Mantienen una temperatura constan-

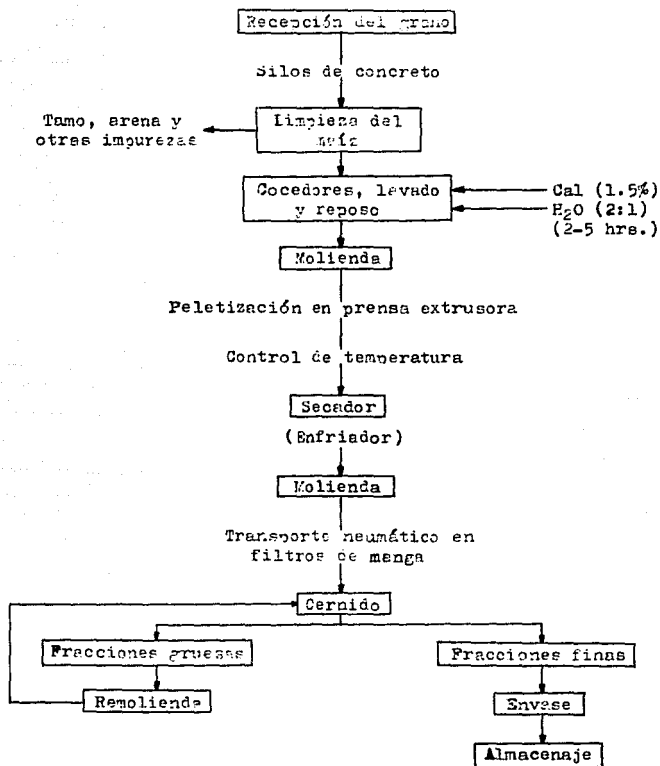


FIGURA 2-3. Diagrama esquemático de planta productora de harina de nixtamal (Sestrada, Herrero y Lara, 1986).

te a lo largo del extrusor por medio de una chaveta de enfriamiento para remover el calor generado por la conversión de energía mecánica.

- c) Extrusores Politrópicos. Las condiciones de operación de este tipo de extrusores oscilan entre las condiciones extremas autógenas e isotérmicas.

2.4.2.2 CONDICIONES OPTIMAS DEL EQUIPO

Un extrusor deberá cumplir con las siguientes condiciones de diseño y construcción.

- 1) Que no contamine.
- 2) Deberá ser fabricado con materiales no corrosivos ni tóxicos, con superficies lisas que no presenten cavidades donde el material alimenticio se pueda acumular y degradar.
- 3) Las partes que entren en contacto con el alimento deberán de ser de acero inoxidable.
- 4) En caso de inyectarse vapor o agua para precondicionar el material, las válvulas deberán ser de acero inoxidable y diseño higiénico.
- 5) Los lubricantes empleados no deberán ser tóxicos.
- 6) Deberá ser fácilmente desarmable para su limpieza e inspección.

2.4.2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA EXTRUSION

Los puntos que generalmente afectan la textura, densidad, sensación, solubilidad y forma son los siguientes:

- a) El método de alimentación y precondicionamiento de los ingredientes y/o mezclas.
- b) El tipo y momento de aplicación de humedad.
- c) El control de la temperatura y contenido de humedad del producto que entra al extrusor.

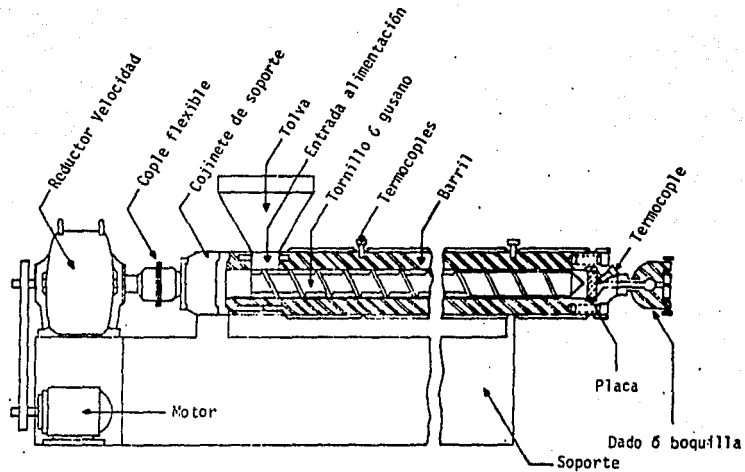


Figura 2-4. Elementos de un extrusor (Bernhardt, 1974)

- d) Control de temperatura en cada sección del extrusor.
- e) Control del momento en el cual se obtiene la máxima viscosidad de la masa.
- f) Control de las velocidades de extrusión.
- g) Control de las relaciones tiempo/temperatura en cada sección del extrusor.
- h) Control del momento en el cual la temperatura del producto es elevada a una máxima temperatura de extrusión.
- i) Selección de la forma y tamaño de los componentes del sistema.
- j) Selección del tipo, tiempo de residencia y temperatura del secador, así como las velocidades de éste y en el enfriador. Selección de la humedad deseada en el producto final.
- k) Punto y método de aplicación de sabor (en caso de ser necesario).

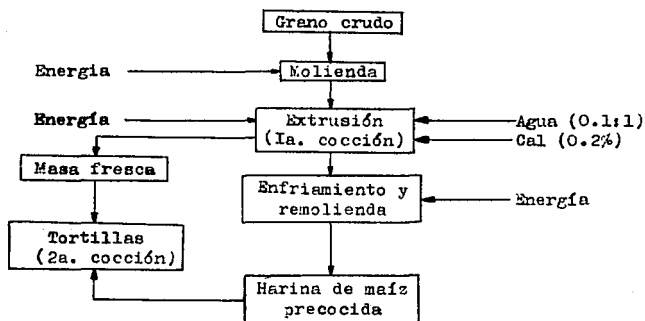


FIGURA 2-5. Diagrama esquemático del proceso de extrusión para el maíz (Bazúa y col., 1976; Bazúa y Guerra, 1980)

Las ventajas de la extrusión son:

- 1) La gelatinización de cereales o almidones, que resulta en una gran absorción de agua para mejorar la digestibilidad y aprovechamiento de la energía calorífica. Adicionalmente, los almidones gelatinizados tienden a mejorar sus propiedades funcionales; mejora la extensibilidad y características de la pasta durante el procesamiento. Los almidones gelatinizados por extrusión se unen con proteínas y microingredientes (vitaminas, minerales, colorantes y saborizantes alimenticios, etc.) uniforme e irreversiblemente en todos los productos extrudidos.
- 2) La inactivación de factores inhibitorios y la eliminación térmica de factores de antipalatibilidad que son importantes en el procesamiento de soya o de otras proteínas de legumbres secas.
- 3) Los costos de mano de obra y procesamiento por tonelada son bajos en los sistemas de extrusión, comparado con cualquier otro método de cocimiento industrial conocido.
- 4) La vida de anaquel de los productos extrudidos es extraordinariamente buena sin refrigeración, aunque un proceso de sanitización razonable tiene que ser seguido. Las enzimas causantes de la separación de los ácidos grasos son esencialmente desactivadas durante el proceso de extrusión, mejorando la estabilidad oxidativa de los lípidos en el proceso. El efecto de pasteurización que se presenta en la extrusión es verdaderamente importante y como ya se mencionó, la inactivación de las lipasas durante el proceso mejora la vida de anaquel de los productos extrudidos.
- 5) La estructura de los extrusores, secadores y enfriadores como parte de un sistema son diseñados para ser rápida y fá-

cilmente desensamblados para su limpieza.

- 6) El cocimiento por extrusión es muy versátil. El mismo proceso HT-ST de extrusión puede producir uno o un conjunto de productos alimenticios normales o enriquecidos con proteínas.
- 7) Se requiere de muy poca mano de obra y espacios limitados por capacidad de tonelada de producción. Cuidando que las posiciones de los componentes no se encuentren retirados para reducir los requerimientos de mano de obra y operación.
- 8) El cocimiento por extrusión puede producir un amplio rango de productos en cuanto a formas, texturas, tamaños, densidades, proporciones de rehidratación y características de rehidratación. Pueden ser cocidos ingredientes individuales o mezclas. Se pueden gelatinizar almidones al mismo tiempo que se realiza el cocimiento para controlar factores inhibitorios.
- 9) El proceso HT-ST de extrusión puede cocer proteínas vegetales sin prácticamente dañar la calidad de la proteína y con mínimamente una mínima pérdida en el contenido de vitaminas.
- 10) Existe una modificación histológica y reestructuración de todos los alimentos procesados. Es posible controlar la textura de los productos cocidos dentro de límites razonables.
- 11) Se pueden cocer un amplio rango de ingredientes: todas las harinas de cereales, proteínas de semillas aceitosas y leñosas tales, almidones sólidos húmedos, harinas deshidratadas de carbohidratos de raíces, diferentes proteínas vegetales (soya, linaza, copra, etc.). Proteínas de huevo, carne o pescado, pueden ser mezcladas con cualquiera de las mencionadas, previo a la extrusión.
- 12) La conveniencia de estos alimentos radica en que pueden ser

fácilmente desarrollados en las diferentes sociedades industrializadas o en vías de industrialización.

- 13) La extrusión casi no produce efluentes contaminantes ya que no tiene salida de subproductos.
- 14) El proceso HT-ST de extrusión consume menor energía total por tonelada de capacidad de producción que cualquier otro método de cocimiento conocido y es termodinámicamente más eficiente.
- 15) La extrusión tiene la aptitud de modificar grandemente la textura, apariencia y utilidad de muchos productos cocidos por este medio, como cereales para desayuno, bocadillos, etc.

Las desventajas de la extrusión son:

- 1) A pesar de que se ha trabajado, todavía no se tienen dominados los problemas provocados por la cocción de masas que contienen altos niveles de grasas o aceites.
- 2) No se han podido controlar todavía algunos factores inhibitorios ó antimetabólicos como el gosispol que se encuentra en la semilla de algodón.
- 3) Aún cuando se cuecen mezclas que contienen proteínas de leche a altas temperaturas (138°C o más) se encuentra una pérdida en la utilización biológica de la proteína.
- 4) Muchos de los productos desarrollados, requieren de un trabajo adicional en la planta piloto ya que el cocimiento por extrusión es relativamente joven entre las tecnologías y la investigación está en muchos aspectos todavía en la etapa de "caja negra".
- 5) Los extrusores procesan solamente harinas o materiales granulados.
- 6) Algunas de las vitaminas microencapsuladas pueden mezclarse

con los cereales antes de la cocción y muestra poca pérdida de estabilidad vitamínica, probablemente debido a la brevedad de los períodos de alta temperatura (12 a 20 segundos o más) en un sistema HT-ST; pero ciertas vitaminas, particularmente la vitamina C, presentan pérdidas excesivas durante el proceso. Estas podrían aplicarse externamente después de la extrusión y secado del producto.

- 7) Introducción de una nueva tecnología, lo cual no se logra fácilmente en ciertos estratos sociales.
- 8) Inversión inicial de capital bastante considerable.

Existen otros procesos, estudiados a nivel laboratorio y/o planta piloto para la producción de tortillas de maíz y sorgo. Estos han sido ya descritos en la literatura por lo que no se mencionaran en este trabajo (Fritze, 1973; Roberts, 1967; Kollina y col., 1977; Johnson y col., 1980; Rusnak y col., 1980; Martínez, 1979).

2.5 GELATINIZACION Y RETROGRADACION

Durante la cocción alcalina del maíz y del sorgo ocurren cambios de suma importancia en la estructura de los gránulos de almidón que conforman el endospermo de los granos. Estos cambios determinan cualitativamente la calidad reológica y sensorial de las masas y tortillas producidas.

El gránulo de almidón compuesto de moléculas de amilosa y amilopectina asociadas por puentes de hidrógeno, formando una red micelar tridimensional a través de la participación de segmentos de moléculas individuales que unen varias áreas micelares. En estas condiciones el almidón presenta una capacidad de solubilización en agua fría limitada, dependiendo de la disposición natural de sus moléculas.

Si la temperatura del agua de maceración es mayor, los puentes de hidrógeno se debilitan e inician su rompimiento, liberando grupos hidroxilo, con lo cual se permite una absorción adicional de agua. Las moléculas de amilosa hidratadas totalmente se separan de la intrincada red micelar y se difunden hacia el medio circundante (Collison, 1968; Leach, 1967). Un tratamiento térmico severo rompe la mayor parte de los puentes de hidrógeno, lo cual permite una hidratación mucho mayor que provoca un hinchamiento irreversible de los gránulos de almidón. Esta modificación en la estructura de los gránulos se conoce como gelatinización (Leach, 1967). El rompimiento de la estructura granular coincide con el lavado de las moléculas de amilosa de bajo peso molecular de los gránulos hinchados hacia el medio que los rodea (Collison, 1965).

Las modificaciones más importantes que sufre una suspensión acuosa de almidón, como consecuencia directa del hinchamiento de los gránulos, son el incremento en la solubilidad del almidón, una mayor claridad de la suspensión y una mayor viscosidad (Leach, 1967).

Durante el enfriamiento y la deshidratación del grano parcial o totalmente gelatinizado ocurre un proceso de cristalización del almidón, que se conoce como retrogradación. Este fenómeno es debido a que los grupos hidroxilo de las moléculas de amilosa y amilopeptina presentan una fuerte tendencia a formar puentes de hidrógeno, lo que provoca un incremento en la cristalinidad. El almidón totalmente retrogradado es poco soluble en agua fría y se dispersa con dificultad.

Por ello, en este trabajo se medirán por medio de equipos reométricos como el viscoamilógrafo Brabender y el texturómetro Instron las diferencias entre harinas, masas y tortillas

obtenidas por el proceso de nixtamalización y el de extrusión para corroborar si estos cambios en la estructura de los almidones pueden ser controlados para obtener productos aceptables por el consumidor.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIAS PRIMAS

Se emplearon maíz de la variedad Huamantla proporcionado por el INIFAP-SARE, sorgo blanco de la variedad Blanco 36 del ICRISAT y sorgo colorido (café-rojizo) de origen desconocido.

Se trabajaron las siguientes muestras:

- 1) Maíz 100% (M 100), sorgo blanco 100% (SB 100), sorgo colorido perlado 100% (SP 100).
- 2) Mezclas de maíz con los dos tipos de sorgo, en las siguientes proporciones: maíz 85%-sorgo blanco 15%, (M85-SB15); maíz 70%-sorgo blanco 30%, (M70-SB30); maíz 60%-sorgo blanco 40%, (M60-SB40); maíz 85%-sorgo perlado 15%, (M85-SP15); maíz 70%-sorgo perlado 30%, (M70-SP30); maíz 60%-sorgo perlado 40% (M60-SP40).

3.2 ANALISIS FISICO DE LOS GRANOS

Con el fin de caracterizar a los granos, se extrajo una muestra representativa de un lote homogeneizado para determinar por ciento de impurezas, peso del grano, peso hectolítrico y densidad relativa.

En el caso del sorgo perlado se emplearon tres lotes diferentes los cuales se mezclaron para obtener uno, estos lotes fueron: sorgo perlado entero y las fracciones $(-1/8 + 3/32)$ y $(-3/32 + 20)$, obtenidas durante el perlado del sorgo. Estos números representan el tamaño de las mallas en pulgadas.

3.2.1 POR CIENTO DE IMPUREZAS

Se pesaron muestras de 100 gramos a las que se les retiraron las impurezas como basura, paja, piedras, tierra, insectos y cualquier materia extraña. Después de esta limpieza los granos se pesaron nuevamente y por diferencia se obtuvo el peso

de la materia extraña.

3.2.2 PESO DEL GRANO

Esta determinación consiste en contar 1 000 granos del cereal y pesarlos. El resultado es expresado como peso/1 000 granos.

3.2.3 PESO HECTOLITRICO

Esta determinación consiste en aforar una probeta de un litro con el cereal, posteriormente el grano de la probeta se pesó, expresando el resultado final en kg/100 litros.

3.2.4 DENSIDAD RELATIVA

La determinación consiste en aforar una probeta de 100 ml con el cereal después de lo cual, el cereal de la probeta se pesó, colocándola nuevamente en la probeta. En seguida empleando una bureta, se adicionó a la probeta con el cereal un líquido que no fuera absorbido por el grano y en el que la semilla fuese más pesada (en este caso éter de petróleo), para llenar los espacios vacíos.

El éter de petróleo se adicionó también hasta el aforo de la probeta, tomándose la lectura de la bureta.

Para determinar la densidad del cereal, se empleó la fórmula.

$$D = \pi/v$$

donde: D = densidad

π = peso del cereal (g)

v = aforo total de - volumen gastado de
la probeta la probeta.

3.3 NIXTAMALIZACION

La nixtamalización de las muestras se llevó a cabo utilizando una concentración del 1% en peso de cal viva con respec-

to al peso del grano y llevando a temperatura de ebullición hasta el cambio de coloración del maíz, de naranja intenso a amarillo (proceso tradicional en el Valle de México). Para el caso del sorgo blanco y sorgo perlado, los tiempos de cocción fueron diferentes que en el caso del maíz. El periodo de reposo después de la cocción fué de 11 a 12 horas. El nixtamal o grano cocido se decantó para eliminar el agua de cocción y reposo, y fué lavado posteriormente para separar el hollejo y eliminar el exceso de cal. El nixtamal limpio fué secado en un secador de charolas al vacío a una temperatura de 70°C y una presión de 1.5 kg/cm² durante siete horas aproximadamente. El material deshidratado fué molido en un molino de dientes hasta obtener la granulometría especificada por la norma oficial para harina de maíz nixtamalizado (SEPAMIN, 1982).

3.4 EXTRUSION

Para el proceso de extrusión se empleó un extrusor de bajo costo construido en México, cuyo diseño está basado en el extrusor desarrollado por Brady (Crowley, 1975) y, posteriormente modificado por el grupo de investigación de la Universidad de Colorado (Harper, 1979). El extrusor tiene un tornillo de vuelta constante accionado por un motor de 30 HP. La salida del extrusor tiene un cono movable que permite la salida del producto extrudido por la circunferencia del barril del extrusor. La única instrumentación con la que cuenta el extrusor es un termopar localizado en la sección de extrusión que indica la temperatura máxima que se alcanza en esa zona.

Este tipo de extrusores generan por fricción el calor usado en la cocción del material. El desplazamiento del cono, cerrando o abriendo la circunferencia por donde sale el material

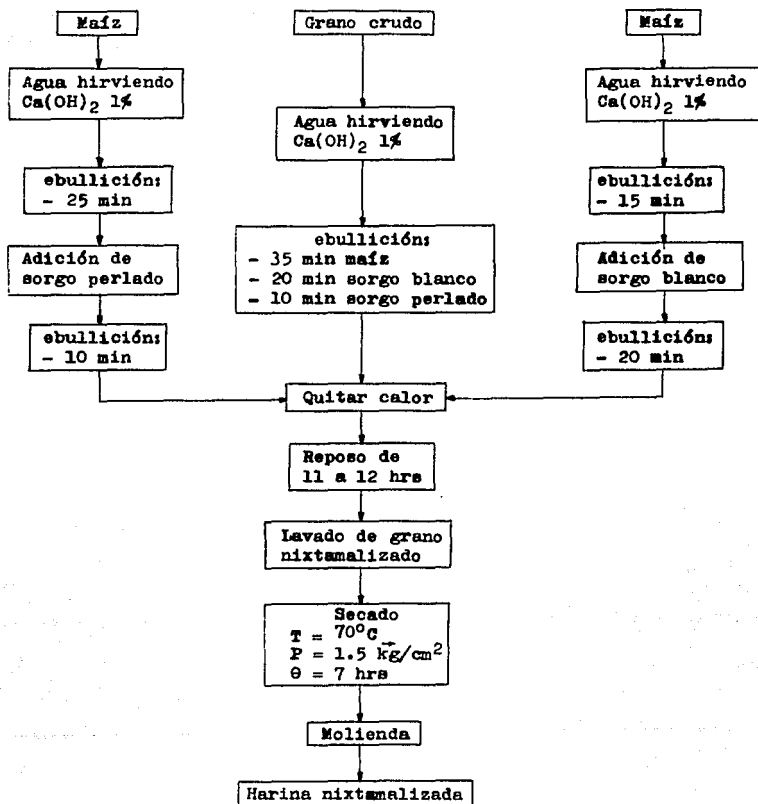


FIGURA 3-1. Procesos térmico-alcálinos para obtener los productos de maíz, sorgo blanco, sorgo perlado y sus mezclas.

extrudido hace que la temperatura de salida suba de acuerdo con la retropresión generada en la zona de extrusión.

Las limitaciones de este equipo son las siguientes:

- 1) No puede variarse la velocidad del tornillo.
- 2) No se tiene control de la alimentación del material granular, lo que impide un control preciso del tiempo de residencia en el extrusor.
- 3) Solamente puede determinarse la temperatura en la "cabeza" del extrusor. El termopar es de un diseño rudimentario y, por ende, la temperatura registrada tiene un error experimental de $\pm 15\%$.

3.4.1 PRUEBAS PRELIMINARES

Para arrancar el extrusor y verificar las características de las harinas extrudidas se programó un diseño experimental variando la granulometría de la materia prima y su contenido inicial de humedad. También se varió el contenido inicial de cal ya que los parámetros de evaluación fueron productos de maíz tradicionales (masas y tortillas). Finalmente, se varió la temperatura de extrusión para cada corrida desde 150 hasta 170°C. Las granulometrías empleadas fueron: grano precuestrado, sémola (malla 10), harina (malla 20).

Las humedades iniciales fueron: 20%, 30% y 40%. Los contenidos iniciales de cal fueron: 0.5%, 0.3% y 0.2% (base húmeda).

Extrusión de las muestras: se realizaron diferentes corridas con las condiciones de operación más adecuadas para la extrusión de maíz, determinadas en los experimentos preliminares, usando como parámetros de comparación sensorial los productos obtenidos por nixtamalización, se procedió a la extrusión de

las diferentes harinas (N 100, SB 100, SP 100, etc.). Las harinas extrudidas fueron secadas en el mismo secador de charolas al vacío, con tiempos de secado de aproximadamente dos horas. Aquí también el material deshidratado fue molido en el molino de dientes hasta alcanzar la granulometría de la norma oficial

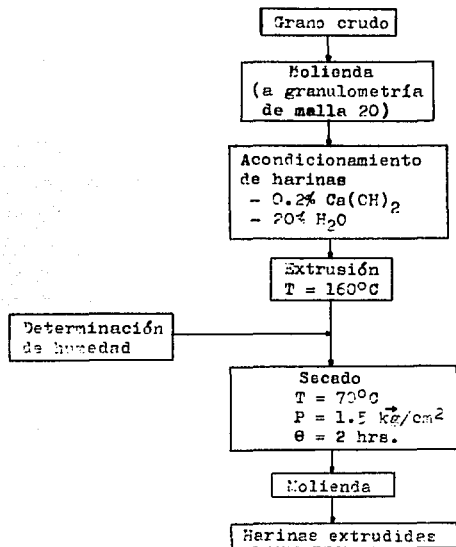


FIGURA 3-4. Diagrama de bloques del proceso de extrusión.

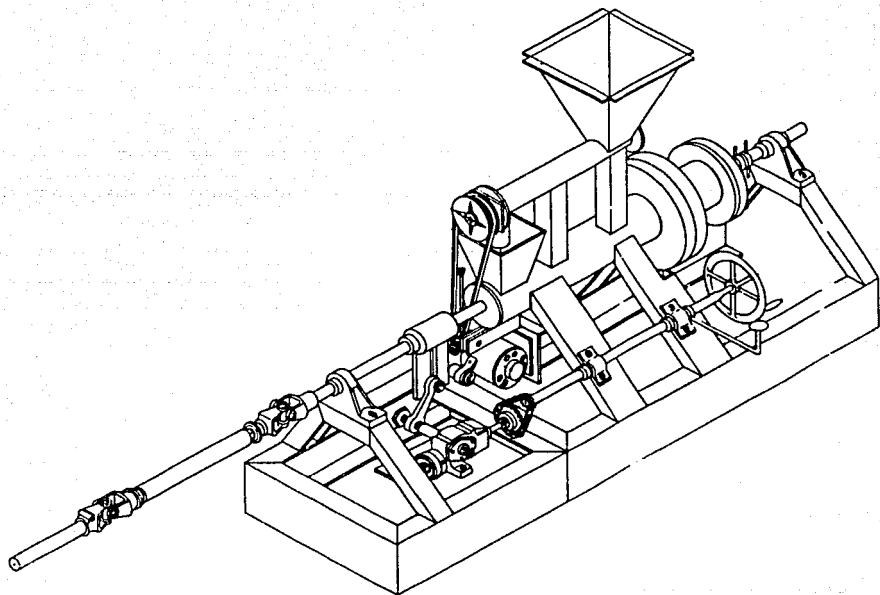


Fig. 3-2. Extrusor de bajo costo, diseñado y construido en México

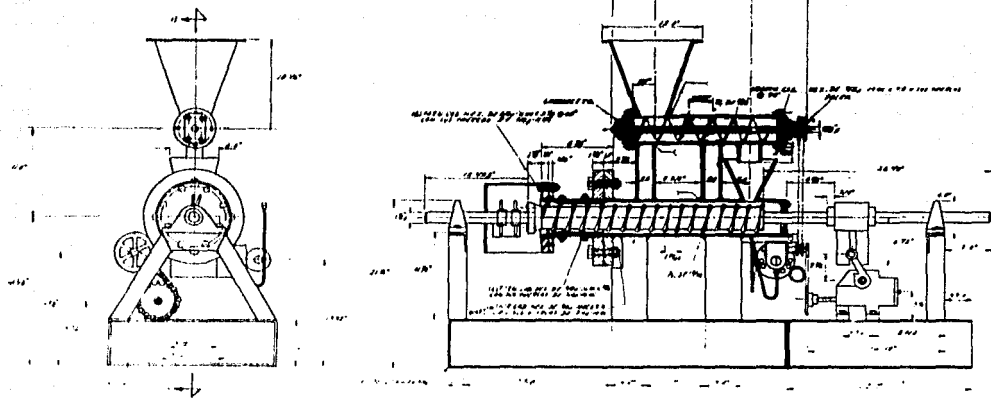


Fig. 3-3, Diagramas de corte frontal y lateral del extrusor CIATECH

3.5 ANALISIS QUIMICOS

A las harinas crudas, nixtamalizadas y extrudidas se les determinaron humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína, carbohidratos asimilables, contenido de calcio y, para evaluar condiciones de vida de anaquel a tres diferentes temperaturas (4, 22 y 50°C), se les determinaron ácidos grasos libres. Para todos estos análisis se siguieron las técnicas de la AOAC (1984).

En el caso de la determinación de taninos se empleó el método modificado Vainillina-HCl (Price y Butler, 1978).

3.6 INDICES DE ABSORCION Y SOLUBILIDAD EN AGUA

A las harinas procesadas se les determinaron los índices de absorción y solubilidad en agua de acuerdo a la metodología descrita por Anderson et al. (1969).

3.7 ELABORACION DE TORTILLAS

Para la elaboración de tortillas se siguió la metodología descrita por Alarcón y col. (1985).

3.8 PRUEBAS REOLOGICAS

Se llevaron a cabo tres experimentos para comparar las características reológicas de los productos extrudidos obtenidos, uno para las harinas, otro para las masas y otro para las tortillas. Cada uno de ellos se comparó con sus contrapartes nixtamalizadas. Para las harinas se usó un viscosímetro Bra-bender, con el que se evaluaron los cambios de comportamiento de los almidones después de los tratamientos térmico-alcálicos. Se introdujeron muestras de harina de 45 gramos en base seca mezcladas con 450 ml de agua (tomando en cuenta la humedad inicial de las harinas) y se usó el ciclo normal de calentamiento

con 1.5°C/min. Para tener un punto de referencia se tomó como patrón masa de maíz nixtamalizado 100% en las mismas condiciones que las harinas. Se obtuvieron los viscoamilogramas que dan la viscosidad aparente en función de la temperatura.

Para estudiar las masas se empleó un texturómetro Instron modelo 1132 con una celda reversible de 500 kg. El accesorio usado fué el de retroextrusión. Para las tortillas se empleó el mismo texturómetro Instron, está vez con la celda de compresión de 2 kg y el accesorio de punción tipo estrella. En ambos casos, la velocidad de la celda y del graficador fué de 10 y 20 cm/min respectivamente. De aquí se obtuvieron curvas que indican la deformación a partir de esfuerzos cortantes definidos para ambos tipos de pruebas.

3.9 ANALISIS SENSORIAL

Durante las pruebas preliminares, para verificar las condiciones idóneas de operación del extrusor se emplearon parámetros subjetivos de evaluación, tales como la textura, sabor y consistencia de tortillas hechas con las harinas extrudidas obtenidas en comparación con sus contrapartes nixtamalizadas. Esta evaluación sensorial fué realizada en dos partes. La primera parte, hecha por los autores, se basó en su experiencia y entrenamiento previo para formar parte de paneles de evaluación organoléptica y consistió en evaluar los productos obtenidos de las pruebas preliminares. Una vez obtenidas las condiciones óptimas de operación se realizó la segunda parte de las pruebas organolépticas con un panel entrenado usando pruebas escalares hedónicas con calificaciones de I para excelente y 5 para pésimo, con las mismas características de evaluación (textura, sabor y consistencia al masticar), tanto para las torti-

llas elaboradas con las harinas extrudidas como con sus contra partes nixtamalizadas, siguiendo la metodología presentada por Guerra y col (1983).

3.10 ANALISIS ESTADISTICO

El análisis estadístico de los resultados obtenidos fué realizado siguiendo pruebas de análisis de varianza, considerando significativos niveles de probabilidad de 5% ($P < 0.05$) (Huntsberger, 1959).

A las muestras que eran significativamente diferentes se les aplicó la prueba de Duncan, la cual es una comparación entre pares y sirve para evaluar qué muestra es mejor ó peor que las demás (Huntsberger, 1959).

3.11 ANALISIS DE COLOR

Para comparar objetivamente el color de las harinas y de las tortillas se empleó un medidor de color Hunter Lab tomando como blanco las harinas y tortillas obtenidas de maíz nixtamalizado 100% y usando las ecuaciones de Glasser y col (1985), para correlacionar los parámetros de color L, a y b para obtener ΔE .

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Se emplearon M-100, SB-100, SP-100, M85-SB15, M70-SB30, M60-SB40, M85-SP15, M70-SP30 y M60-SP40 para referirse a maíz 100%, sorgo blanco 100%, sorgo perlado 100%, maíz 85%-sorgo blanco 15%, maíz 70%-sorgo blanco 30%, maíz 60%-sorgo blanco 40%, maíz 85%-sorgo perlado 15%, maíz 70%-sorgo perlado 30% y maíz 60%-sorgo perlado 40% respectivamente.

Los resultados obtenidos se presentan en tablas y figuras de la forma siguiente:

La tabla 5 representa la caracterización física de los granos de maíz, sorgo blanco y sorgo perlado.

Las figuras 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5 y 4-6 muestran los resultados del análisis proximal y contenido de calcio de las harinas crudas, nixtamalizadas y extrudidas.

Las figuras 4-7, 4-8 y 4-9 presentan los resultados obtenidos de las pruebas de vida de anaquel de las harinas nixtamalizadas y extrudidas almacenadas a temperatura de refrigeración (4°C), a temperatura ambiente (22°C) y a condiciones de alta temperatura (50°C) durante 90 días.

En las tablas 6-1 y 6-2, aparecen los índices de solubilidad y absorción en agua de las harinas nixtamalizadas y extrudidas.

Las figuras 4-10, 4-11 y 4-12, muestran el comportamiento reológico de los almidones de las harinas nixtamalizadas y extrudidas.

En la tabla 7 y figura 4-13 se presentan los resultados y el comportamiento de masas de harinas nixtamalizadas y extrudidas en el texturómetro Instron.

En la tabla 8 y figura 4-14 se muestran los resultados de la prueba reológica para tortillas en el Instron.

Finalmente en la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de color, para las harinas precocidas, harinas de tortillas y tortillas, de las muestras nixtamalizadas y extrudidas.

4.1 CARACTERIZACION DE LOS GRANOS

4.1.1 POR CIENTO DE IMPUREZAS

El por ciento de impurezas, se refiere a la materia extraña encontrada en el grano, la cual fué baja tanto para el maíz como para el sorgo blanco y perlado, lo que nos indica que después del desgranado de los granos, fueron limpiados y encostalados, ya que vienen de campos experimentales.

4.1.2 PESO HECTOLITRICO

El peso hectolítrico es un valor que nos puede indicar posibles adulteraciones, principalmente con granos de otra variedad o bien otro tipo de granos. En lo que se refiere a los resultados obtenidos corresponden a lo esperado ya que, como se dijo anteriormente, provienen de campos experimentales, lo que garantiza que sean de la misma variedad y el hecho de que se encuentren exentos de otro tipo de granos.

4.1.3 PESO DEI GRANO

Esta determinación es un índice de adulteración con otro tipo de granos, ya que cuando un cereal se encuentra mezclado con otros granos va a aumentar o decrecer el peso, dependiendo del peso de los granos extraños. También puede ser un valor útil para saber el grado de frescura del grano, por la pérdida de humedad. Los resultados obtenidos corresponden a lo esperado debido a que se empleó un maíz grande en relación con el sorgo, proporcionando un peso mucho más alto; en cuanto a la diferencia entre ambos sorgos es lógica ya que uno de ellos es

perlado, representando por lo tanto menor peso. Además de esto, no se puede hablar de granos viejos ya que los granos correspondían a cosechas que tenían poco tiempo de haberse levantado.

4.1.4 DENSIDAD RELATIVA

La densidad relativa es un valor que indica el volumen que ocupa un peso conocido de un cereal, el cual resulta proporcional al rendimiento harinero del mismo. La determinación va a estar sujeta a variación, según el modo en el que el grano se asiente dentro del envase (en nuestro caso una probeta, pero bien puede tratarse de un saco) o dentro de un recipiente grande (tal como un depósito o un silo). En los resultados obtenidos se observa que el maíz presenta un valor más bajo que los sorgos utilizados, de los cuales, el sorgo perlado es ligeramente mayor que el sorgo blanco, lo que indica que gracias a que ha sido perlado, su rendimiento molinero aumenta ligeramente.

Tabla 5. Caracterización física de los granos de maíz, sorgo blanco y sorgo perlado.

	MAIZ	SORGO BLANCO	SORGO PERLADO
Impurezas (%)	1.30	1.30	1.20
Peso hectolítrico (kg/100 l)	77.00	83.00	80.00
Peso del grano (g/1000 granos)	423.20	30.80	25.60
Densidad relativa (g/ml)	1.275	1.35	1.382

4.2 EXTRUSION Y NIXTAMALIZACION

Con respecto a la extrusión, de las pruebas realizadas pa

ra maíz 100%, se encontró que las harinas con un contenido de humedad de 20% y con 0.2% de cal procesadas a 160°C eran las que producían tortillas similares a las de harina de maíz nixtamalizado.

Usando estas condiciones para extrudir los cereales restantes y sus mezclas se obtuvieron las harinas usadas para producir las tortillas de maíz, sorgo blanco, sorgo perlado y sus mezclas.

El contenido de humedad de las harinas cuya granulometría era la de la norma oficial (75% de ella pasa por una malla de 0.25 mm) era de:

- 4.87 a 9.84% para las harinas nixtamalizadas.
- 1.62 a 5.94% para las harinas extrudidas.

En cuanto al análisis químico se tiene que, para el caso de las proteínas (fig. 4-1) se observa una disminución de éstas en las harinas nixtamalizadas y extrudidas con respecto a las crudas debido a las condiciones en que se procesaron, ya que en la nixtamalización existe una solubilización del nitrógeno que se lleva a cabo durante la lixiviación, mientras que en la extrusión se tiene a la temperatura de procesamiento cierto daño en la proteína presente. Los resultados obtenidos muestran también, un contenido similar para las harinas procesadas por ambos métodos. Por otro lado se tiene un mayor valor en la proteína de las muestras de maíz que en las de los dos sorgos, lo cual se traduce en sus mezclas ya que al ir aumentando la proporción de maíz existe una mayor cantidad de proteína.

En la figura 4-2 se presentan los contenidos de grasa del maíz, sorgo perlado, sorgo blanco y sus mezclas. Aquí se puede notar que la cantidad de grasa del sorgo perlado es pequeña

en comparación con el sorgo blanco y el maíz. Esto es lógico ya que el sorgo ha sido sometido a un proceso previo de decor-ticación, en el que pierde gran parte del germen que es la por-ción constitutiva de los cereales en la que se encuentra la ma-yor parte de grasa y aceite. En la figura también se puede ver que, tanto para el proceso de nixtamalización como para el de extrusión, hay una disminución en el contenido de grasas. En la nixtamalización las grasas disminuyen debido a la acción que tiene el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sobre los glicéridos, mediante una reac-ción de hidrólisis alcalina, dando como productos ésteres; mientras que en la extrusión se nota una mayor reducción de las grasas, posiblemente como resultado de la hidrólisis alcalina de los glicéridos y por la formación del complejo lípido-amiloso que se forma cuando los cereales son procesados a alta temperatura (Saldaña, 1987).

En lo que se refiere a la fibra cruda (fig. 4-3) se tiene una menor cantidad en las harinas nixtamalizadas debido, en primera instancia a la hidrólisis en medio alcalino de las he-micelulosas del pericarpio y segundo, al lavado que se le rea-liza al grano después de la lixiviación durante el cual se pierde gran parte de la cascarilla presente. Las diferencias de fibra cruda entre los granos extrudidos y los crudos no es tan significativo debido a que en la extrusión no existe una pérdida marcada de este material, ya que se mete al extrusor el grano preacondicionado y se saca en forma de hojuela y ya precocido. Se obtuvo una menor proporción de fibra en las mue-stras de sorgo perlado debido a que se encuentra exenta de la capa externa (testa y pericarpio). En lo que se refiere al sorgo blanco se encontró un valor alto en la muestra cruda pu-diendo ser un error experimental, ya que se puede ver en sus mezclas crudas, nixtamalizadas y extrudidas que al aumentar la

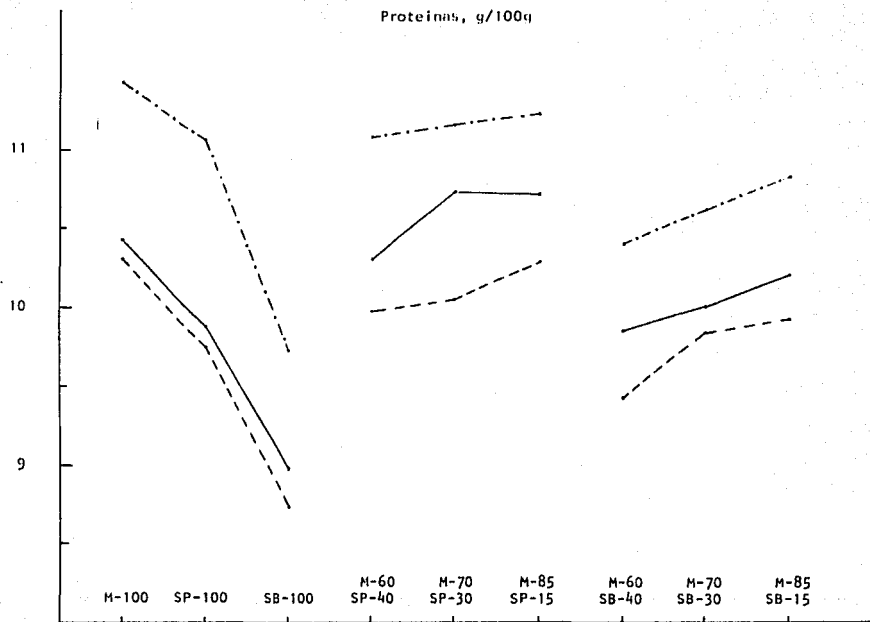


FIG. 4-1. Contenido de proteínas en base seca de harinas crudas (---), nixta - malizadas (—) y extrudidas (-.-).

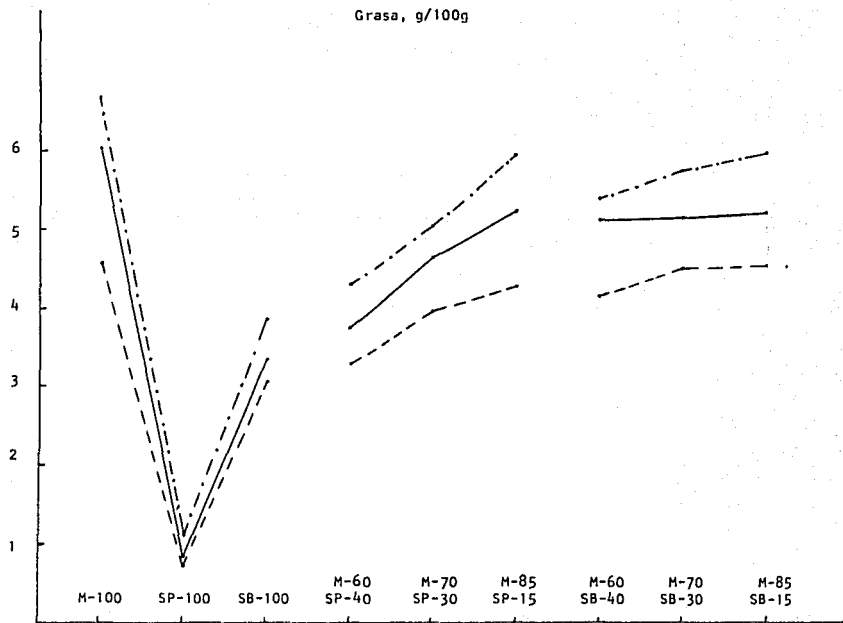


FIG. 4-2. Contenido de grasa en base seca de harinas crudas (---), nixtamalizadas (—) y extrudidas (-.-).

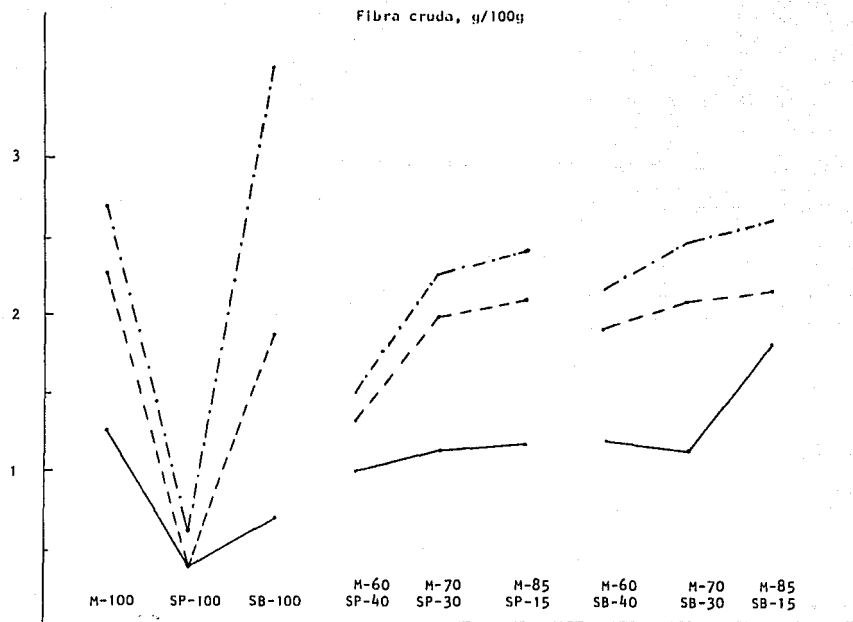


FIG. 4-3. Contenido de fibra cruda en base seca de harinas crudas (---), nixtamalizadas (—) y extrudidas (- - -).

cantidad de este grano el por ciento de fibra cruda va disminuyendo.

Los valores de carbohidratos asimilables (fig. 4-4) muestra que conforme el grano de sorgo perlado va aumentando en proporción se obtienen valores más altos. Esto es debido a que al carecer de su capa externa, queda en su mayor parte, compuesto de la capa de almidón. Por otro lado, el sorgo blanco resulta también con un contenido de carbohidratos asimilables mayor que el maíz, lo que se comprueba igualmente en sus mezclas ya que al ir aumentando su proporción va aumentando su valor; esto resulta particularmente importante para la elaboración de tortillas, ya que se obtendrán tortillas con un valor energético mayor, lo cual ayudará a cubrir el mínimo de alimentos energéticos que es requerido en algunas zonas del país (centro y sur).

En las figuras 4-5 y 4-6, se puede observar en las muestras crudas que, en general, la cantidad de cenizas y calcio es menor para el sorgo perlado y sus mezclas que para el maíz y sorgo blanco al igual que sus mezclas; esto se debe, al igual que el contenido de grasa y fibra cruda, al proceso de decorticación a que fué sometido el sorgo colorido. Se puede ver también que en las muestras procesadas, el sorgo perlado retiene una mayor cantidad de calcio, debido a que es más fácil su transferencia en el grano por carecer de su capa externa. Finalmente, se tiene que hay más variación en el contenido de cenizas y calcio en las harinas nixtamalizadas que en las harinas extrudidas; esta variación en las harinas nixtamalizadas se explica por el lavado a que es sometido el nixtamal, el cual puede ser exhaustivo o ligero.

Para analizar la vida de anaquel de las harinas procesa-

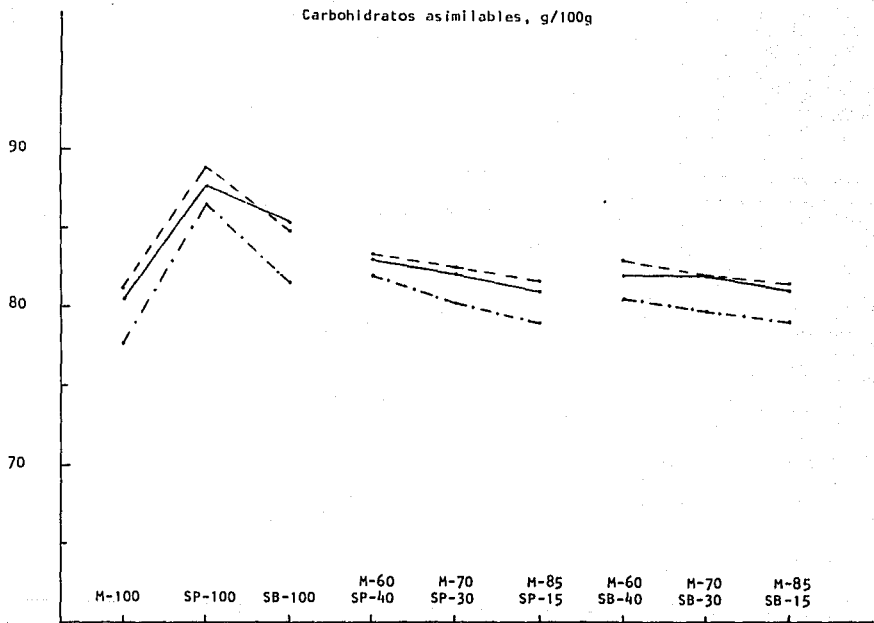


FIG. 4-4. Contenido de carbohidratos asimilables en base seca de harinas crudas (----), nixtamalizadas (—) y extruidas (- - -).

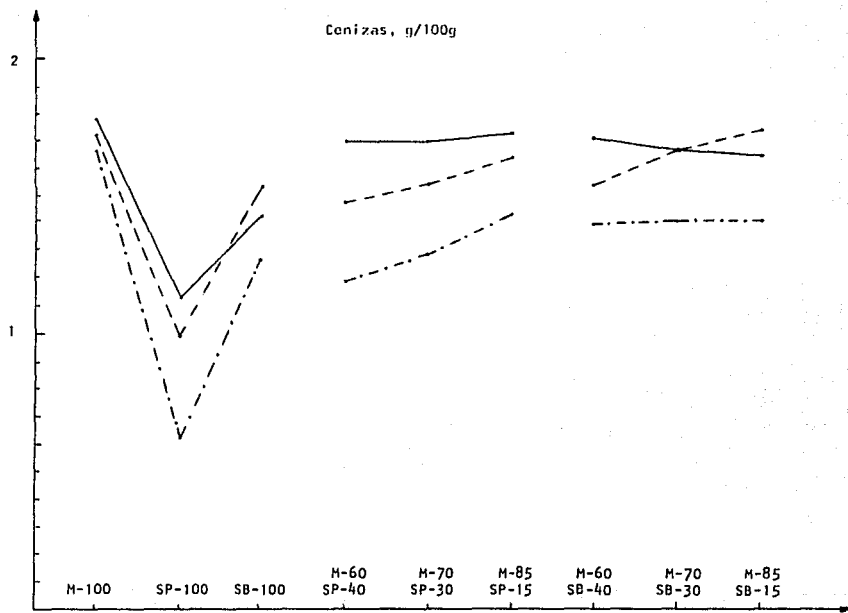


FIG. 4-5. Contenido de cenizas en base seca de harinas crudas (---), nixtamalizadas (—) y extrudidas (- - -).

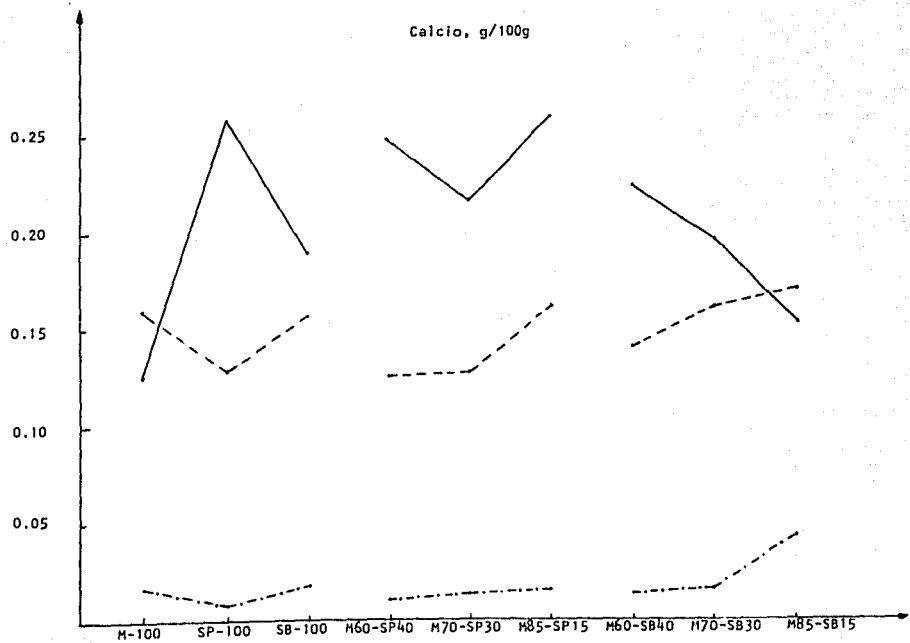


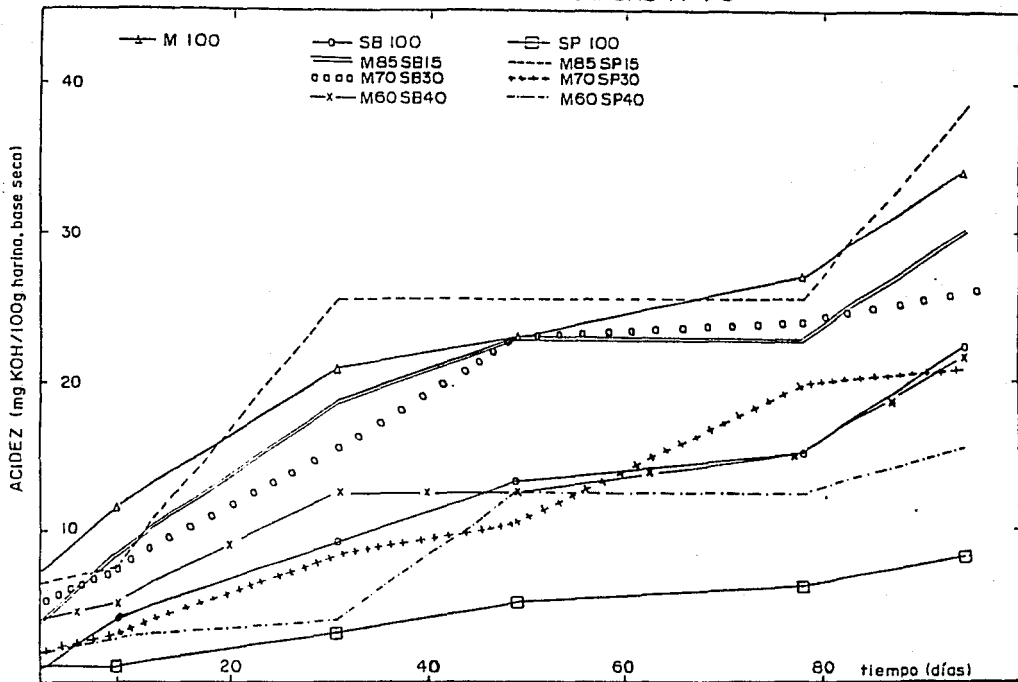
FIG.4-6. Contenido de calcio en base seca de harinas crudas (----), nixtamalizadas (—) y extrudidas (-.-).

das (figs 4-7, 4-8 y 4-9) es necesario mencionar lo siguiente: Cuando un alimento que contiene grasas, se encuentra en presencia de oxígeno (aunque esta sea mínima) en el período inicial de almacenamiento, sólo se absorben pequeñas cantidades de oxígeno, pero después de transcurrido un tiempo variable comienza a absorber mayores cantidades, correspondiendo esto al período de inducción. La explicación de esta secuencia de acontecimientos puede radicar en el hecho de que la oxidación de las grasas es una reacción autorpropagadora en cadena. Cada molécula oxidada de grasa cataliza la oxidación de otras moléculas de grasa de lo que se sigue una reacción en cadena y se observa un ritmo cada vez más acelerado de la oxidación. Los productos primarios de oxidación así producidos se desdoblán rápidamente para dar cierta diversidad de compuestos que son causa de olor y sabor a grasa rancia. Todo éste mecanismo de oxidación es favorecido con la elevación de la temperatura. En las figuras mencionadas se puede notar que las harinas nixtamalizadas, en particular las de maíz, sorgo blanco y sus mezclas llegan al período de propagación en un tiempo más corto, en comparación con las harinas extrudidas, este comportamiento puede ser posiblemente causado por la formación del complejo lípido-carbohidrato que se forma durante el período de extrusión.

Por lo que toca al índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción en agua (IAA), los cuales se muestran en las tablas 5-1 y 5-2, estos van a depender para el caso de la extrusión de diferentes factores como son el por ciento de humedad del material extrudido, la temperatura de extrusión y el contenido de amilosa del almidón procesado. Los resultados obtenidos en el IAA son similares para las harinas nixtamalizadas y extrudidas, por lo que puede decirse que no hay diferen-

FIG. 4-7a.

HARINAS EXTRUDIDAS ALMACENADAS A 4°C



ACIDEZ (mg KOH/100g harina, base seca)

FIG. 4-7b.

HARINAS NIXTAMALIZADAS ALMACENADAS A 4°C

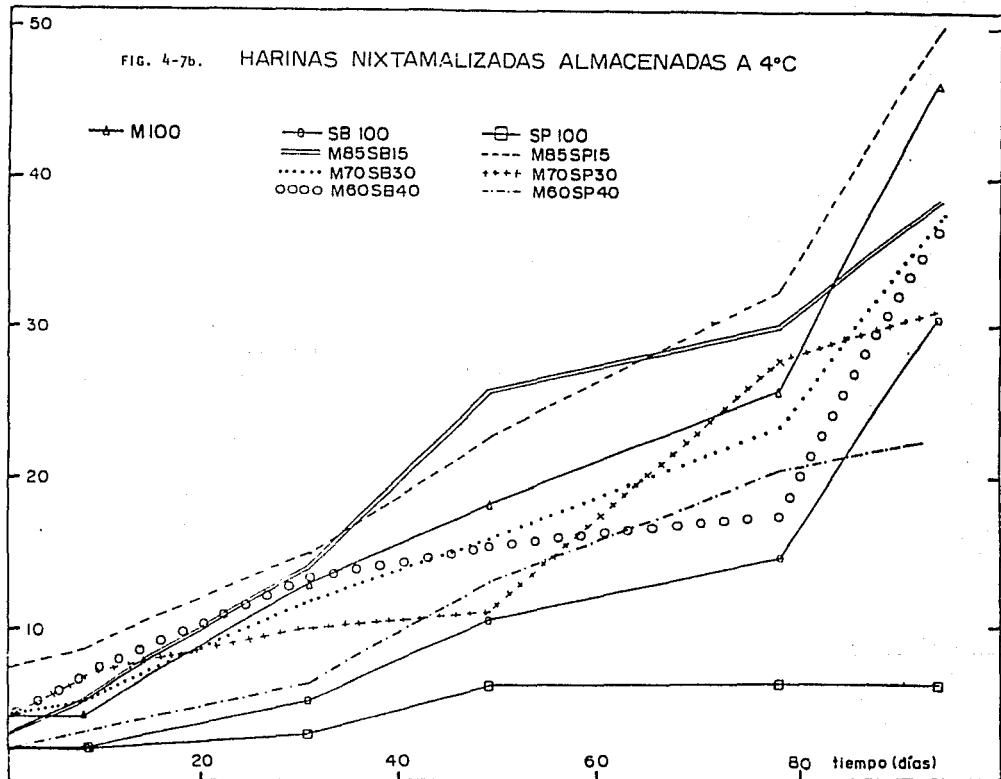


FIG. 4-8a. HARINAS EXTRUDIDAS ALMACENADAS A 22°C

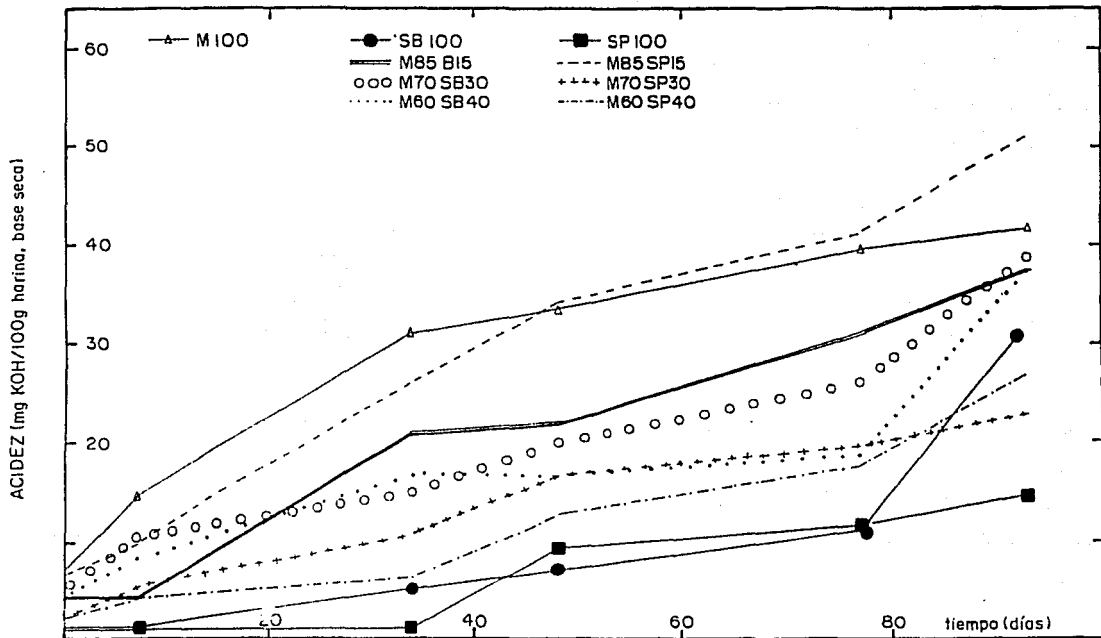


FIG. 4-8b.

HARINAS NIXTAMALIZADAS ALMACENADAS A 22°C

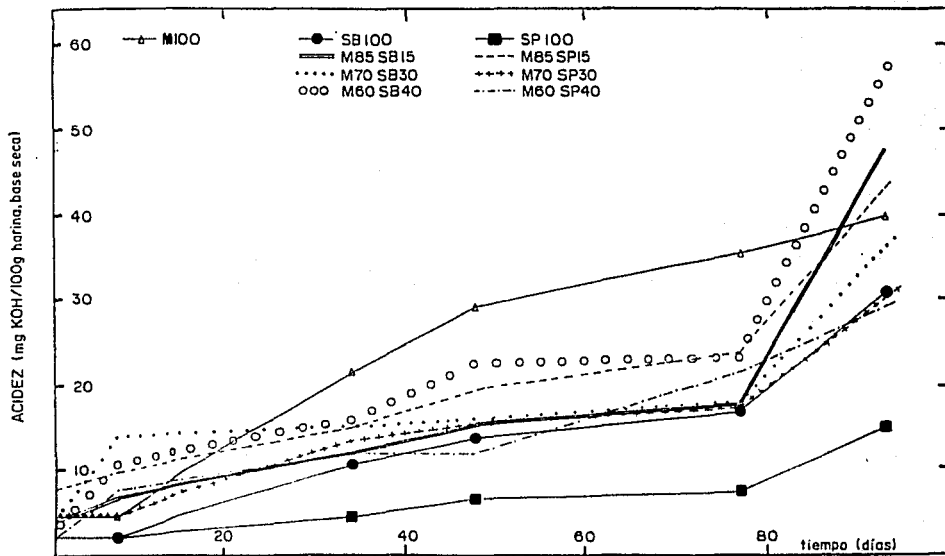


FIG. 4-9a.

HARINAS EXTRUDIDAS ALMACENADAS A 50°C

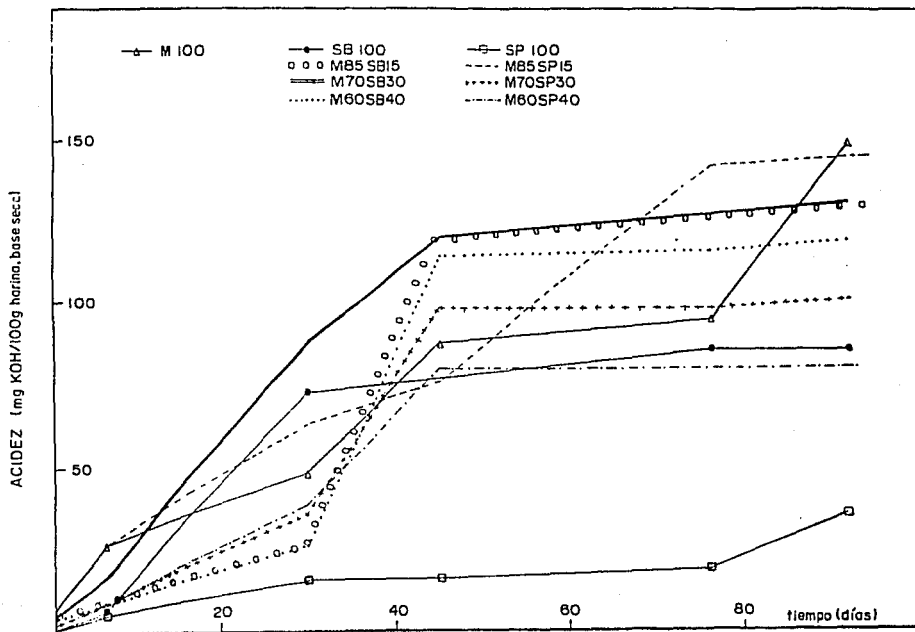
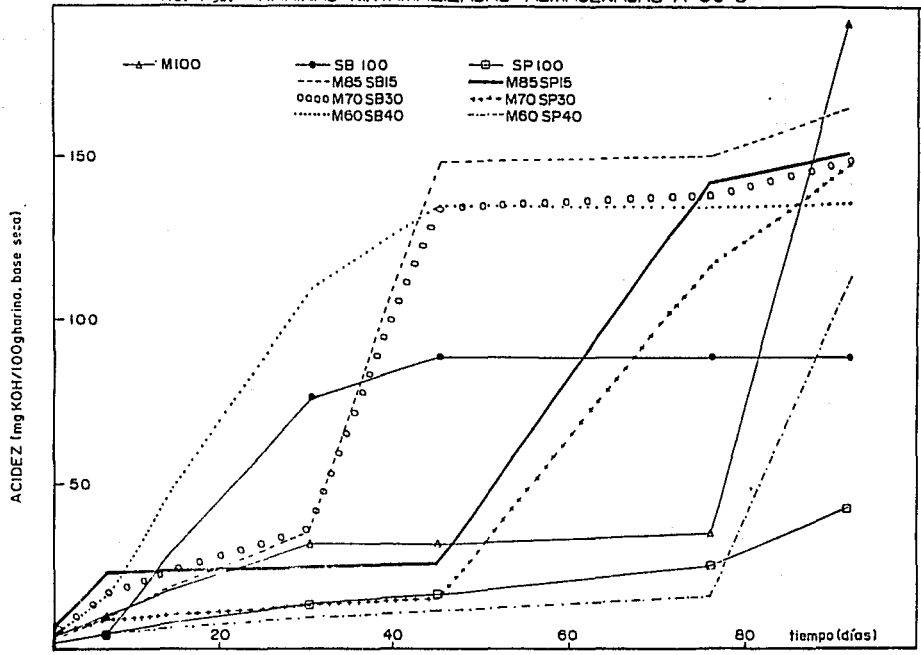


FIG. 4-9b. HARINAS NIXTAMALIZADAS ALMACENADAS A 50°C



cias significativas; el IAA va a depender de la disponibilidad de los grupos hidrofílicos, los cuales ligan moléculas de agua (Gómez y Aguilera, 1983).

En lo que respecta al ISA, podemos ver que las harinas extrudidas presentan un valor más alto que las nixtamalizadas. Esto es causado por el desarrollo de dextrinas y polisacáridos de alto peso molecular en la extrusión. Esta porción va ir aumentando conforme la humedad del material introducido vaya disminuyendo y la temperatura de extrusión aumentando (Anderson y col., 1969; Smith y col., 1979; Mercier y Peillet, 1975).

Tabla 6-1. Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción en agua (IAA) de harinas nixtamalizadas (base seca).

MUESTRA	ISA (g/g)	IAA (g/g)
M-100	0.0434	2.0941
SB-100	0.0238	3.0640
SP-100	0.0113	3.1937
M85-SB15	0.0438	3.1208
M70-SB30	0.0399	3.2275
M60-SB40	0.0389	3.4302
M85-SP15	0.0460	3.0475
M70-SP30	0.0431	3.4175
M60-SP40	0.0454	3.6272

Tabla 6-2. Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción en agua (IAA) de harinas extrudidas (base seca).

MUESTRA	ISA (g/g)	IAA (g/g)
M-100	0.3471	3.7307
SB-100	0.0394	3.2816
SP-100	0.0333	3.4541
M85-SB15	0.0433	3.2192
M70-SB30	0.0442	3.2237
M60-SB40	0.0514	3.2763
M85-SP15	0.0474	3.0155
M70-SP30	0.0370	3.1166
M60-SP40	0.0492	3.4140

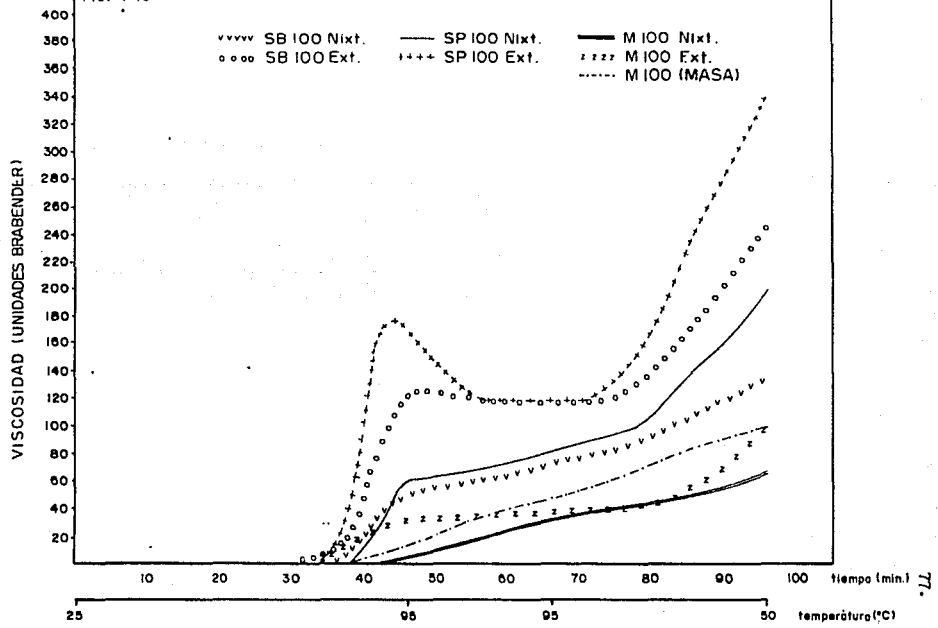
Por otro lado, para poder discutir y explicar las curvas de los viscosilogramas presentadas en las figuras 4-10, 4-11 y 4-12, es necesario mencionar lo siguiente: como se sabe, para los viscosilogramas prototipo de almidones gelatinizados siguen el patrón que a continuación se menciona. Se tiene una viscosidad máxima al aumentar la temperatura cuando los gránulos hinchados de almidón ocupan el máximo volumen posible de la celda de trabajo; al llegar a ese máximo, aunque continúe el calentamiento a temperatura constante (95°C) la viscosidad baja bruscamente debido a la destrucción de los gránulos de almidón; si la temperatura baja en este punto del proceso, la viscosidad vuelve a aumentar debido a el fenómeno de retrogradación ó reasociación de las moléculas destruidas de almidón. Smith y col (1979) mencionan que las harinas precocidas que siguen este comportamiento darán como resultado masas pegajosas,

lo que resulta indeseable para la elaboración de tortillas. Ahora bien, es importante mencionar que los almidones crudos no siguen este comportamiento, ya que al correr los viscoamilo gramas se registra siempre un aumento progresivo de la viscosidad. En las figuras de los viscoamilogramas se puede observar que las harinas extrudidas se aproximan más al comportamiento de un almidón totalmente gelatinizado, el cual es más notorio en las harinas de sorgo perlado y sus mezclas; este comportamiento es lógico debido a que estas partículas estuvieron sujetas a un proceso abrasivo y por ende a un calentamiento anterior al momento de la extrusión. Por otra parte, es importante señalar que en el proceso de extrusión no se puede hablar de una gelatinización sino de una mezcla de material gelatinizado-dextrinizado, favoreciéndose la dextrinización con contenidos de humedad del material alimentado por debajo del 20% y altas temperaturas (Gómez y Aguilera, 1984).

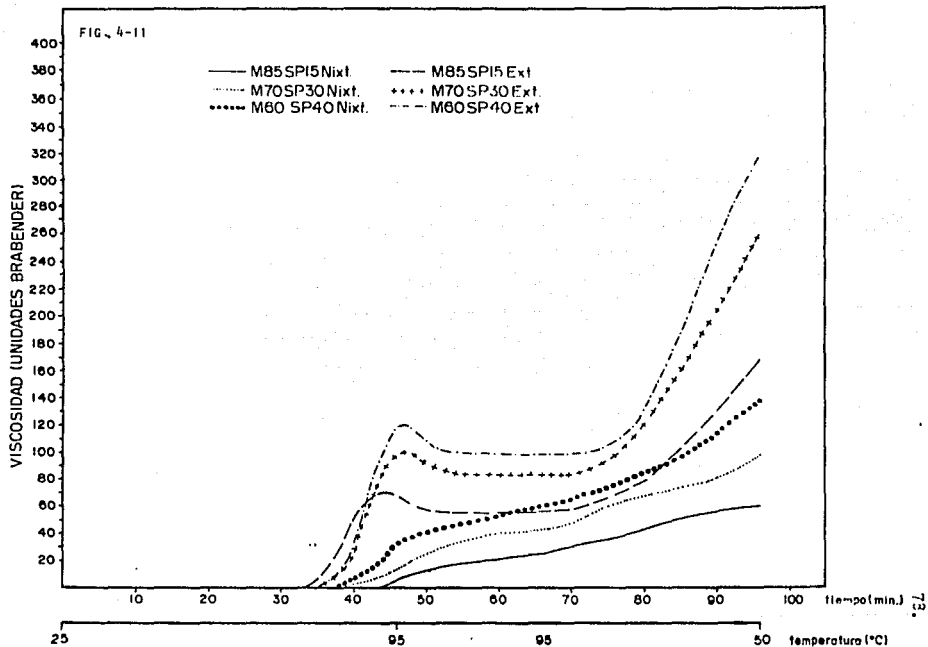
En las harinas nixtamalizadas ocurre el fenómeno opuesto con los gránulos de almidón, debido a que en el proceso de nixtamalización se produce una gelatinización parcial y no total del almidón, por lo que tenderan a seguir un comportamiento similar al del almidón crudo en el viscoamilografo.

En cuanto a los resultados obtenidos en el Instron se tiene para el caso de las masas (tabla 7 y fig. 4-13): se observa que, en general, se aplica una mayor fuerza en las masas nixtamalizadas que en las extrudidas, a excepción de las masas M-100 M85-SP15 y M85-SB15, que como se ve, son las que contienen mayor cantidad de maíz; esto indica que las masas extrudidas son más blandas (ya que se les aplica una menor fuerza) y como la altura de las masas se mantuvo constante al igual que su peso y el émbolo recorre la misma distancia en todas ellas, el tra-

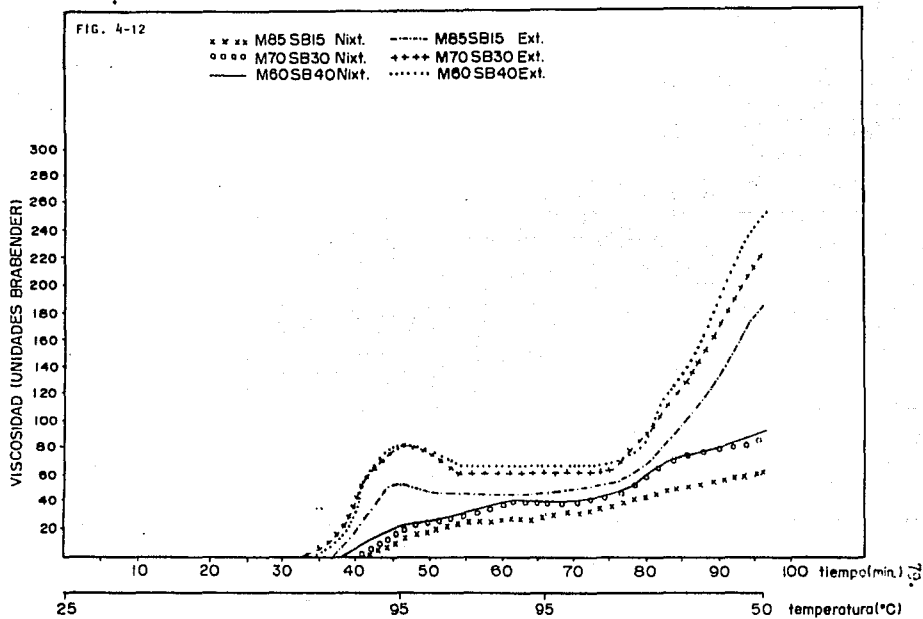
FIG. 4-10



77.



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



bajo va a ser proporcional a la fuerza. Algunos investigadores, como Risley y Suter (1977), relacionan el área bajo la curva con el trabajo desarrollado. Esto concuerda, en general, con los resultados obtenidos. Cabe mencionar que la cantidad de agua agregada a cada una de las harinas para elaborar las masas fué diferente, dependiendo del punto en el que la masa resultara consistente. Para obtener resultados más representativos sería deseable la participación de una persona entrenada en el manejo de masas que pudiera decir en qué momento la masa tiene la consistencia adecuada para elaborar tortillas.

Tabla 7. Valores de compresión para masas de harinas nixtamalizadas y extrudidas.

MASA	F (Kgf)		W (Kgf·m)		A (cm ²)	
	Nixt.	Ext.	Nixt.	Ext.	Nixt.	Ext.
M-100	205.0	250.0	8.968	10.937	4.062	5.043
SP-100	192.5	171.0	8.422	7.481	3.729	4.375
SB-100	212.5	195.0	9.297	8.531	4.505	4.198
M60-SP40	158.0	146.0	6.916	6.387	3.697	3.718
M70-SP30	255.0	162.5	11.156	7.109	4.708	3.515
M85-SP15	124.0	132.0	5.425	5.575	3.072	3.676
M60-SB40	260.0	212.5	11.375	9.297	4.497	4.364
M70-SB30	183.0	127.0	8.028	5.556	4.476	3.664
M85-SB15	185.0	250.0	8.094	10.937	4.791	5.088

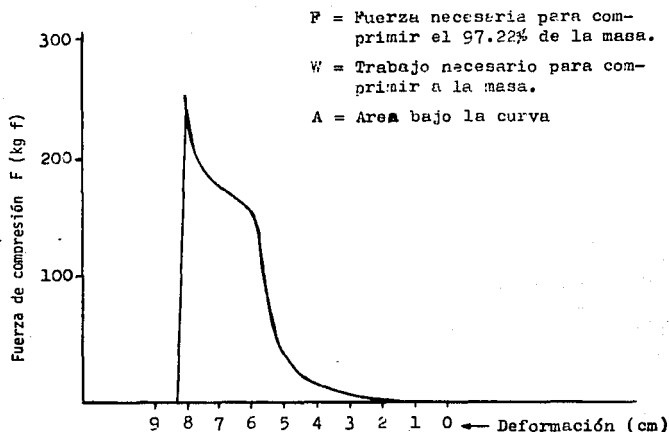


FIGURA 4-13. Comportamiento de masas de harinas nixtamalizadas y extrudidas ante la prueba de compresión.

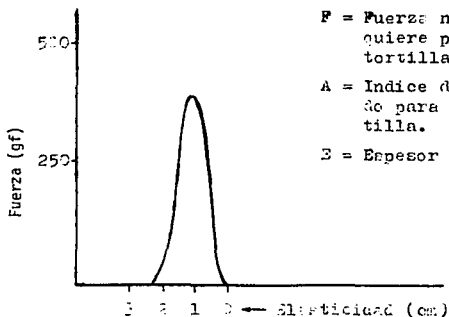
Para el caso de las tortillas (Tabla 8 y fig. 4-14), los resultados obtenidos muestran que la fuerza que se necesita para atravesar a la tortilla es más grande en las muestras nixtamalizadas que en las extrudidas; esto puede ser un índice de la dureza de la tortilla (Smith et al., 1979) o bien de la elasticidad. Sin embargo los resultados que se obtuvieron no son representativos ya que tanto el grosor de la tortilla como el tiempo de cocimiento fueron diferentes, afectando las determinaciones realizadas. Es necesario que para obtener resultados representativos, se tenga una masa de consistencia adecuada y se emplee una tortilladora que permita obtener un producto con grosor y un tiempo de cocimiento similares.

Es interesante hacer notar que en la elaboración de tortillas, las masas obtenidas al rehidratar las harinas extrudidas y nixtamalizadas presentaron diferentes características. Para el caso de las harinas extrudidas se obtuvieron masas de muy buena consistencia para la elaboración de tortillas, pero al dejar reposar las masas por períodos mayores de 5 minutos, éstas adquirían una consistencia pegajosa, este comportamiento se observó más en las masas de sorgo perlado y sus mezclas. Esto puede deberse a que las cadenas de amilosa se orientan paralelamente o interaccionan entre ellas formando nuevos puentes de hidrógeno a través de sus múltiples radicales hidroxilo, rompiéndose así los que formaban con el agua de rehidratación.

En el caso de las harinas nixtamalizadas se pudo ver que éstas al ser rehidratadas formaban masas de consistencia pobre, además de que perdían agua rápidamente por lo cual no se podían amasar adecuadamente, por lo que se decidió pasar estas harinas rehidratadas en un molino de piedras, obteniéndose buenos resultados ya que mejora notablemente su consistencia. Esta mejora en las masas puede explicarse de la manera siguiente: en la elaboración tradicional del nixtamal, en el tiempo que dura la nixtamalización ocurre un cierto grado de gelatinización del grano de maíz, éste al ser lavado para su posterior moliente en humeado adquiere un mayor grado de gelatinización, produciéndose así una masa de textura y consistencia apropiada para elaborar tortillas. Esto se pudo confirmar al pasar también una harina de MICONSA. Con este resultado puede decirse que, para que MICONSA obtenga harinas que produzcan masas de mejor calidad reológica, tal vez sea necesario que aumente su tiempo de maceración, para poder obtener así la gelatinización deseable.

Tabla 8. Valores de la relación fuerza-elasticidad de tortillas de harinas nixtamalizadas y extrudidas.

TORTILLA	F (gf)		A (cm ²)		E (mm)	
	Nixt.	Ext.	Nixt.	Ext.	Nixt.	Ext.
M-100	335.00	296.66	3.063	4.500	1.8	2.1
SP-100	447.50	423.00	4.343	5.250	1.9	2.2
SB-100	395.00	270.00	3.572	2.572	1.8	1.8
M60-SP40	420.00	322.00	3.906	2.989	2.0	1.9
M70-SP30	343.75	386.00	2.916	3.302	2.0	2.0
M85-SP15	351.25	354.00	3.000	3.031	1.9	1.7
M60-SB40	273.00	183.75	2.468	1.895	2.0	1.9
M70-SB30	309.75	300.50	2.427	3.010	2.0	1.9
M85-SB15	349.37	317.75	3.177	2.750	2.0	2.1



F = Fuerza necesaria que se requiere para atravesar a la tortilla.

A = Índice del trabajo requerido para atravesar a la tortilla.

E = Espesor de la tortilla.

FIGURA 4-14. Curva de fuerza-elasticidad para tortillas.

De las pruebas sensoriales para las tortillas se obtuvieron los siguientes resultados (tomando un nivel de probabilidad del 5%):

Entre tortillas de maíz 100%, tanto nixtamalizadas como extrudidas, no existen diferencias significativas, tanto en color como en consistencia. En el caso de sabor, si hay diferencia significativa favoreciendo a las tortillas de harina extrudida.

En el caso de las tortillas de sorgo blanco nixtamalizado no hubo diferencia significativa para textura y consistencia pero para sabor se encontró una diferencia significativa desfavorable para las tortillas de sorgo blanco nixtamalizado con respecto a las muestras restantes.

Para las tortillas de sorgo perlado nixtamalizado tampoco hubo diferencia significativa para textura y consistencia y, como las anteriores, tuvieron una diferencia significativa desfavorable de sabor con respecto a las demás muestras.

Con las tortillas de sorgo blanco extrudido no hubo diferencias significativas para sabor y consistencia. Con respecto a la textura, las tortillas de sorgo blanco obtuvieron una calificación que indica que son estadísticamente mejores que las de maíz 100% nixtamalizado.

En el caso de las tortillas de harinas extrudidas de sorgo perlado no hubo diferencias significativas en ninguna de las tres características evaluadas.

Con respecto al color se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla 9. Se midió objetivamente el color de tres productos, harinas precocidas, de tortillas enteras y de las harinas producidas a partir del secado y molienda de tortillas, todas ellas comparadas con un blanco de harina de maíz

nixtamalizado 100%, de tortilla de maíz nixtamalizado 100% y con harinas obtenida de estas últimas, respectivamente. De ellos puede inferirse lo siguiente: Las tortillas de harinas extrudidas tienen los colores más luminosos (valores de L mayores). De hecho, la tortilla de maíz extrudido es más blanca que la de maíz nixtamalizado. Las tortillas de sorgo perlado son más oscuras que las de sorgo blanco y, a medida que se incrementa la proporción de sorgo en la mezcla con maíz las tortillas se oscurecen (mayores valores de b , que indica el color azul). Sin embargo, la diferencia entre las tortillas de mezclas de sorgo blanco y maíz hasta con un 40% de sorgo no son significativamente más oscuras que las de maíz nixtamalizado 100%. Esto implica que es posible extender las tortillas de maíz con sorgo blanco ó perlado hasta en un 40% sin que el color de la tortilla se vea afectado sensiblemente.

Los datos de L , a y b se muestran en el Apéndice.

Tabla 3. Resultados obtenidos en las determinaciones de color por reflectometría de harinas y tortillas.

- Muestras Nixtemalizadas.

Muestra	ΔE		
	Harinas precocidas	Harinas de tortillas	Tortillas
M-100	0.00	0.00	0.00
SP-100	8.00	9.44	6.84
SB-100	8.09	9.06	11.02
M85-SP15	1.68	0.64	2.49
M85-SB15	2.51	0.87	3.19
M70-SP30	3.54	2.00	2.53
M70-SB30	4.38	2.72	3.28
M60-SP40	5.24	5.94	2.63
M60-SB40	6.93	3.64	4.13

- Muestras Extrudidas.

Muestra	ΔE		
	Harinas precocidas	Harinas de tortillas	Tortillas
M-100	5.00	2.09	2.63
SP-100	5.66	14.96	12.41
SB-100	5.04	11.79	13.60
M85-SP15	6.21	1.77	4.63
M85-SB15	5.32	1.64	3.65
M70-SP30	5.92	2.96	5.33
M70-SB30	5.03	2.26	5.52
M60-SP40	4.90	6.90	5.62
M60-SB40	3.69	5.71	5.98

V. CONCLUSIONES

1. Es posible extrudir, tanto maíz como sorgo, así como sus mezclas para elaborar harinas precocidas que puedan usarse como las harinas nixtamalizadas tradicionales, obteniendo tortillas tan buenas e incluso mejores en lo que a textura se refiere, que las de maíz nixtamalizado 100%, como fué el caso de las de harina de sorgo blanco extrudido. Las condiciones óptimas de alimentación de la materia prima al extrusor fueron de 20% de humedad, harina de malla 20 y contenido de cal de 0.2% y la temperatura óptima de extrusión fué de 160°C. La extrusión permite que las harinas puedan ser almacenadas por tiempos más largos que sus contrapartes nixtamalizadas sin mostrar signos de rancidez, debido probablemente a la formación del complejo lípido-carbohidrato.
2. Se encontró que la molienda de las harinas rehidratada nixtamalizadas en molinos de piedra imparte a las masas una consistencia y textura deseables para la elaboración de tortillas.
3. Debido a la insuficiencia del país para producir los granos básicos necesarios y, en particular, el maíz que requiere la población mexicana, se planteó el uso del sorgo de producción nacional para extender los productos de maíz. Los resultados obtenidos indican que, desde la óptica tecnológica no existen limitantes para realizar esta extensión, ya sea en harinas, masas o tortillas para consumo humano directo. Además, con esta alternativa se elimina la dependencia del exterior de alimentos básicos para la población, ya que los productores de alimentos balanceadas pueden re-

currir a fuentes novedosas de forrajes, tales como el aprovechamiento de esquilmos agropecuarios que, además de tener un costo menor, reducen el deterioro del ambiente.

4. La brevedad del tiempo de cocción, la inactivación de compuestos antinutricionales, el ahorro de energía de proceso, el consumo mínimo de agua y la consecuente generación prácticamente nula de aguas residuales, que evitan el deterioro del ambiente y logran un mayor rendimiento molinero, hacen de la extrusión una tecnología idónea para substituir a la nixtamalización o maceración, tanto para la producción de masas directamente o de harinas precocidas para tortillas de maíz como de sorgo (blanco o perlado) y de sus mezclas.
5. El sorgo blanco, puede usarse para substituir completamente ó extender los productos de maíz hasta en un 40% y si se desea una apariencia más cercana a la de los productos de maíz 100%, puede llevarse a cabo el perlado de los sorgos coloridos, reduciendo solamente su calidad proteica pero no su aporte calórico.
6. El presente estudio ha aseverado la bondad nutricional del proceso de extrusión desde el punto de vista del daño que pudieran sufrir las proteínas de los cereales procesados con respecto al proceso tradicional de nixtamalización (Saldaña, 1987). Sería pertinente también, cuantificar el efecto que esta tecnología tiene sobre las vitaminas, en particular la niacina, vitamina del complejo B que previene la pelagra, así como de su precursor el trintofano, cuya conversión a niacina se cree que es favorecida por el proceso térmico-alcalino. Se ha documentado que en la nix

tamalización existen pérdidas considerables de tiamina, y riboflavina por lo que resultaría de gran interés realizar estudios en harinas extruídas sobre ellas.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al ICRISAT el suministro de la variedad de sorgo blanco, al INIFAP el suministro de la variedad de maíz blanco cristalino y el uso de sus facilidades y a los Dres. Ings. F. Lazo y V. Núñez, tanto su valiosa colaboración como el suministro de sorgo rojo perlado. Igualmente agradecen al Departamento de Tecnología de Alimentos del INIFAP a cargo de la M. en C. María Griselda Vázquez, y de manera muy especial a Juve, Javier, Feli y Lorenzo por la ayuda prestada. Por otra parte, agradecemos al Ing. Jorge Castillo del Departamento de Industrias Agrícolas de la U.A.CH., por su valiosa colaboración en las pruebas con el Instron. También agradecen a la Sección de Diseño de la Facultad de Química, en particular al Sr. A. Cerón, por la elaboración del material gráfico. Asimismo, agradecen el apoyo financiero brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del Proyecto "Industrialización del maíz para consumo humano". Finalmente, agradecen al CIDESI su apoyo para el arranque, operación, mantenimiento y elaboración de diagramas del extrusor.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Anderson, R.A.; Conway, H.P.; Pfeiter, V.F. and Griffin Jr., E.L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today* 14(1):5-13.
2. Anderson, R.A.; Conway, H.P.; Pfeiter, V.F. and Griffin Jr., E.L. (1969). Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. *Cereal Sci. Today* 14(11):372-376.
3. Alarcón, A.L. (1985). Evaluaciones biológicas en tortillas elaboradas con mezclas de maíz sorgo (híbrido; taramo). Tesis Profesional. Facultad de Química, UNAM. México.
4. Alarcón, A.L.; Durán de Bardá, C.; Guerra, R. y Nieto Z. (1979). Rheological evaluations for corn and sorghum doughs and tortillas. Second International Congress on Engineering and Food. Helsinki, Finlandia 27-31, agosto.
5. Alarcón, A.L.; Guerra, R.; Pedroza de Brenes, R.; Nieto de Meléndez, Z. y Durán de Bazúa, C. (1985). Mezclas nix tamalizadas de maíz y sorgo. Evaluaciones en masas y tortillas. Pruebas reológicas y sensoriales. *Tecnol. Alim. (México)* 20(1):6-11.
6. A.O.A.C. (1984). Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis. Whashington, D.C., U.S.A.
7. Anzaldúa, A.; Vernon, J. y Lever, C.A. (1983). Nuevos métodos de evaluación sensorial y aplicaciones en reología y textura. *Tecnol. Alim. (México)* 18(5):4-8,10,11.
8. Bazúa, C.D.; Guerra, R. y Rodríguez, A. (1976). High-Lysine corn traditional Mexican products. Presentado en el First International Congress on Engineering an Food. Boston, Massachusetts. EE.UU. de A. Agosto.

9. Bazúa, C.D. de; Iruegas, A.A.; Pedroza, R.; Guerra, R.; Nieto, Z. y Rodríguez, A. (1978). Corn-sorghum tortillas: Nutritional and organoleptic evaluations. Sixth International Cereal and Bread Congress. Winnipeg. Canadá (Septiembre):16-22.
10. Bazúa, C.D. de; Guerra, R. y Sterner, H. (1979). Extruded corn flour as an alternative to lime-heated corn flour tortilla preparation. J. Food Sci. 44(3):940.
11. Bedolla, S.; González de Palacios, M.; Khan, M.N. y Rooney L.W. (1982). The cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by traditional methods. In Proceedings of the INTSORMIL Sorghum Grain Quality Workshop for Latin America. INIA-ICRISAT-CIMMYT. El Batán, México. p. 56-79.
12. Bedolla, M.S. y Rooney, L.W. (1982). Cooking maize for masa production. Cereal Food World. 27(5):219-221.
13. Bernhardt, E.C. (1974). Processing of thermoplastic materials, Krieger Publishing Co. p. 154-302. Huntington, N.Y.
14. Betanzos, E. (1970). El sorgo en la alimentación humana. Perspectivas para México. Informe Interno de Investigación. INIA. Chapingo, México.
15. Betanzos, E. (1974). Elaboración de productos tradicionales sustituyendo maíz por sorgo. Pruebas a nivel laboratorio. Informe Interno de Investigación. INIA, Chapingo. México.
16. Bonfil, G. Editor. SEP/CULTURA. (1984). El maíz, fundamento de la cultura popular mexicana. Museo Nacional de Culturas Populares. G.V. Editores, S.A. México.
17. Bourne, M.C. (1982). Food texture and viscosity. Concept and measurement. Academic Press.

18. Bressani, R.; Paz, R. y Scrimshaw, N. (1958). Chemical changes in corn during preparation of tortillas. INCAP. Guatemala. *J. Agric. Food Chem.* 6(10):770-773.
19. Bressani, R.; Braham, J.E. y Béhar, M. (1972). Mejoramiento nutricional del maíz. Publicación INCAP I-3:325 Guatemala, Guatemala.
20. Cagampang, G.B.; Kirleis, A.W. y Marks, J.S. (1984). Application of small sample back-extrusion test for measuring of cooked sorghum grain. *J. Food Sci.* 49:278-280.
21. Cejudo, G.H.E. (1978). Estudio de metodologías físicas, determinación de taninos y actividad de la enzima catecol-oxidasa, en grasas de sorgo (*Sorgo bicolor* L.Moench), utilizados para alimentación. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
22. Collison, R. (1968). Swelling and gelation of starch y starch retrogradation. In *Starch and its Derivatives* de Radley. J.A. Fourth edition. Chapman and Hall LTD. London. p. 168-202.
23. CONASUPO. Prontuario Operativo 1985-1986.
24. Crowley, P.R. (1975). Evaluation of low-cost extrusion-cooker for use in less developed countries. Comunicación personal. 21 p.
25. Davison, V.J.; Paton, D.; Diosady, L.L. y Rubin, L.J. (1984). A model for mechanical degradation of wheat starch in a single-screw extruder. *J. Food Sci.* 49:1154-1157.
26. Desikachar, H.S.R. (1977). Processing of sorghum and millets for versatile uses in India. Proceedings: Symposium on Institute. London. p. 41-45.
27. Del Valle, F.R. (1972). Producción industrial, distribución y mercadeo de harina para tortillas en México. En: Simpo-

- sio sobre Desarrollo y Utilización de Maíces de Alto Valor Nutritivo. p. 157-182. Colegio de Postgraduados, ENA, Chapingo, México.
28. Durán, C. (1978). Procedimiento para cocer maíz por extrusión. Dirección General de Invenciones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Patente No. 173038.
 29. Durán, C. y Venado, A. (1977). Efecto de la nixtamalización en la composición química del sorgo. Informe Interno de Investigación, INIA, Chapingo, México.
 30. Durán de Bazúa, C. y Guerra, R. (1980). Los centros de investigación y educación superior en el desarrollo de agroindustrias. Parte II: Nuevos productos agrícolas procesados. Rev. Tecnol. Alim. (México) 15(6):4-11.
 31. Estrada, O.C.; Herrero, M.L. y Lara, A.V. (1986). Harina de maíz nixtamalizado, estudio comparativo entre el proceso tradicional y el proceso de extrusión. Tesis Profesional. Escuela de Química, Universidad La Salle. México.
 32. Fritze, H. (1973). Dry gelatinized starch produced on different types of drum dryers. Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop. 12:142-148.
 33. Futrell, M. y Robert, J. (1982). Uso de sorgo en el sur de Honduras. En Proceedings of the INTSORMIL Sorghum Grain Quality Workshop for Latin America. INIA-ICRISAT-CIMMYT. El Batán, México p. 25.
 34. Glasser, L.G.; McKinney, A.H.; Reilly, C.D. y Schnelle, P.D. (1958). Cube-root coordinate system. J. Opt. Soc. Am. 48(10):736.
 35. González, E.E.; Ruah, S.; Alvarez, N.; Escalona, N. y Moreno-Terrazas, R. (1984). Mejoramiento de la calidad

- de la proteína del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) mediante un proceso de fermentación sólida. *Tecnol. Alim. (México)* 19(1):22-24,26,28.
36. Gómez, M.H. y Aguilera, J. M. (1983). Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. *J. Food Sci.* 48:378-381.
 37. Gómez, M.H. y Aguilera, J.M. (1984). A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.* 49:40-43,63.
 38. Guerra, R. (1978). Extrusión, una nueva tecnología aplicada al procesamiento del maíz normal y opaco-2. Tesis Profesional. Facultad de Química, UNAM. México.
 39. Guerra, R.; Rodríguez, A. y Bazúa, C.D. de (1983). Extrusion of high-lysine corn and applications in Mexican foods. *Trans. of the ASAE.* 26(2):618-623.
 40. Guerrero, M.J. y Lugo P. (1980). Cambios fisicoquímicos que sufre el maíz en la nixtamalización. Tesis Profesional. Facultad de Química, UNAM. México.
 41. Harper, H.A.; Rodwell, V.W. y Mayer, P.A. (1977). *Review of Physiological Chemistry.* Lange Medical Publications. 16a. Edition. EE.UU. de A. p.551.
 42. Harper, J.M. (1979). Food extrusion. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* p. 155-215.
 43. House, L.R. (1982). El sorgo. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 425 p.
 44. Hulse, J.H.; Laing, E.M. y Pearson, D.E. (1980). *Sorghum and the millets: Their composition and nutritive value.* Academic Press London.
 45. Huntsberger, G. (1959). *Elements of statistical inference.* Capítulo 12, p. 285-338. Allyn and Bacon Inc. Boston EE.UU. de A.

46. Hunter Lab Manual Instruction. Model D-25.
47. Illescas, R. (1943). La teoría química de la formación del nixtamal. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. 4(3-4):129-134.
48. INEGI. (1986). El Sector Alimentario en México.
49. Jansen, G.R.; Harper, J.M. y O'Deen, L. (1978). Nutritional evaluation of blended food made with a low-cost extruder cooked. J. Food Sci. 43:912.
50. Johnson, B.A.; Rooney, L.W. y Khan, M.N. (1980). Tortilla making characteristics of micronized sorghum and corn flours. J. Food Sci. 45:671-674.
51. Katz, J.R. y Muschler, F.J.F. (1933). Biochem 2. p. 257-385.
52. Katz, S.H.; Hediger, M.I. y Valleroy, L. A. (1974). Traditional maize processing techniques in the New World. Science 184:765.
53. Khan, M.N.; Rooney, L.W.; Rosenow, D.T. y Miller, F.R. (1980). Sorghums with improved tortilla making characteristics. J. Food Sci. 45:720-725.
54. Lanverde, A. (1949). El maíz y su cultivo en México. José Torres y Cía. México.
55. Laso, F. y Núñez, V. (1980). Estudio de la factibilidad para la producción de harina de maíz y endospermo integral de sorgo nixtamalizado. Reporte Interno Industrias CONASUPO. México.
56. Laso, F. y Núñez, V. (1982). Tecnología para la producción de Kisel-Ha, endospermo integral limpio de sorgo y maíz para la elaboración de tortillas. Presentado en la Reunión Nacional sobre Tecnologías Mexicanas para la Producción de Proteínas y Técnicas Modernas de Apoyo. Presidencia de la República. Coord. de Proyectos de Desarrollo.

- llo y Sistema Alimentario Mexicano. México, Julio 28-30.
57. Lamond, C. (1970). Methods for sensory evaluation of food. Food Res. Inst., Central Exp. Farm. Pub. 1284, Canada Dpt. of Agriculture, Ottawa, Canada.
 58. Leach, H.W. (1967). Gelatinization of starch. In starch: Chemistry and technology, Vol. I de Wistler, R.L. y Paschall, E.F. Academic Press Inc. USA. p. 289-307.
 59. Matz, A.S. (1959). The chemistry and technology of cereals as food and feed. The AVI Publishing Co., Inc. Westport.
 60. Martínez, B.F. (1979). Farinha pre-gelatinizada de milho elaborada por proceso hidrotérmico: características químicas y tecnológicas. Tese Mestrado, Universidad de Campinas. Brasil.
 61. Mercier, G. y Feillet, P. (1975). Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. Cereal Chem. 52(3):283-297.
 62. Mertz, E.T.; Bates, L.S. y Nelson, O. E. (1964). Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content in maize endosperm. Science 145:279-280.
 63. Molina, M.R.; Letona, M. y Bressani, R. (1977). Drum-Drying for the improved production of instant tortilla flour. J. Food Sci. 42:1432-1434.
 64. Mustakas, G.C.; Albrecht, W.J.; Bookwalter, G.N.; Mc Ghee, J.E.; Kwolek, W.F. y Griffin, E.L. (1970). Extruder-processing to improve nutritional quality flavor and keeping quality of full-fat soy flour. Food Technol. 25:1290.
 65. Nieto, Z.; Durán de Bazúa, C.; Laso, F. y Núñez, V. (1986) Calidad molinera de mezclas de maíz y sorgo perlado e integral. Tecnol. Alim. (México) 21(2):17-21.

66. Novellie, L. (1977). Beverages from sorghum and millets. Proceedings; Symposium on Sorghum and Millets of Human Food. Tropical Products Institute, London. p. 73-77.
67. Padua de, M.F. y Padua, M.H. (1984). Rheological behavior of Venezuelan arepa dough from precooked corn flour. Cereal Chem. 61(1):37-41.
68. Peter, C.J. (1978). Dough rheology in extrusion cooking. Food Technol. 32:73-76.
69. Price, M.L. y Butler, L.G. (1978). Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. J. Agric. Food Chem. 25:1268.
70. Primo, C. (1979). Química Agrícola: Alimentos. Edit. Alhambra. Madrid, España. Tomo III.
71. Ramírez, R.F. (1984). Elaboración de harinas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) por proceso hidrotérmico. Características químicas y usos. Tesis Profesional. U.A.CH., México.
72. Rizley, N.F. y Sutter, D.A. (1977). Sorghum tortillas process and product attributes. J. Food Sci. 42(8):1435-1438.
73. Roberts, H.J. (1976). Corn flour: From surplus commodity to premium product. Cereal Sci. Today 12:505-508, 532.
74. Rodríguez, S. y Ruano, A. (1977). El uso del sorgo para consumo humano. Características y limitaciones. Instituto de Ciencias y Tecnologías Agrícolas. Ministerio de Agricultura. Guatemala, Guatemala.
75. Rooney, L.W. y Sullins, R.D. (1977). The structure of sorghum and its relation to processing and nutritional value. Proceedings; Symposium on Sorghum and Millets for Human Food. Tropical Products Institute London. p. 91-100.

76. Rooney, L.W.; Khan, M.N. y Earp, C.F. (1980). The technology of sorghum products. En *Recent Progress in Cereal Chemistry: Cereal for food and beverages*. Inglett, G. (ed.). Academic Press Inc. New York. p. 513-554.
77. Rooney, L.W. y Miller, F.R. (1982). Variación en la estructura y características del grano de sorgo. Laboratorio de Calidad de Cereales y Sección de Mejoramiento de Sorgo. Departamento de Suelos y Cultivos. Universidad de Texas A&M.
78. Rossen, J.L. y Miller, R.C. (1973). Food extrusion. *Food Technol.* 27:46-53.
79. Rusnak, B.A.; Chou, C.; Rooney, L.W. y Sullins, R.A. (1980). Effects of micronizing on processing properties of sorghum varieties with different endosperm type. *J. Food Sci.* 45:1529-1532.
80. Saldaña, M.V. (1987). Comparación química y biológica de mezclas de maíz y sorgo nixtamalizadas y extrudidas. Tesis Profesional. Facultad de Química, UNAM. México.
81. Saldaña, M.V.; Nieto Z.; Durán, C.; Gallardo, Y. y Mazur, R. (1987). Comparación de harinas extrudidas de maíz, sorgo integral y perlado y de sus mezclas, empleando como parámetros digestibilidad "in vitro" y presencia de taninos. Presentado en el XII Congreso Interamericano de Ingeniería Química. Junio 21-26, Lima, Perú.
82. Sánchez, M. (1973). Datos sobre sorgo. Chapingo, México. ENA, Depto de Industrias Agrícolas.
83. SARH. Maíz. Molienda y fabricación de tortillas. Folleto, Coordinación General de Desarrollo Agroindustrial.
84. SARH. (1987). Blanco 86, variedad de sorgo apta para consumo humano. Folleto técnico No. 6.

85. SEPAFIN. (1982). Norma Oficial Mexicana. NOM-F 46-5-1982. Harina de maíz nixtamalizado. Dirección General de Normas.
86. Sherman, P. (1976). Food texture and rheology. Academic Press.
87. Silva, M. (1983). Elaboración de harinas nixtamalizadas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para tortillas. Características químicas y tecnológicas. Tesis Profesional. Departamento de Industrias Agrícolas. U.A.CH., México.
88. Sosa, E.N. (1970). Copilación bibliográfica sobre la composición química, valor nutritivo y aprovechamiento industrial del maíz. Tesis Profesional. Facultad de Química, UNAM. México.
89. Smith, R.J. (1967). Characterization and analysis of starch. In starch: Chemistry and technology. Vol. II de Wistler, L.L. y Paschall, E.F. Academic Press Inc. USA. p. 599-601.
90. Smith, O.; Buckle de, T.S.; Sandoval, A.M. y González, G. E. (1979). Production of pre-cooked corn flours for arepa making using and extrusion cooker. J. Food Sci. 94:816-819.
91. Smith, Oak B. (1971). Why use extrusion. Presented Feb 12, Symposium on Extrusion Cooking. American Association of Cereal Chemists. St. Louis Missouri.
92. Smith, Oak B. (1974). Textures by extrusion processing prepared for delivery in short course for fabricated food. Las Vegas, Nevada march 28. American Chemical Society-Division of Agricultural and Food Chemistry.
93. Szczeniak, S.A. (1973). Texture measurement of foods. Psychophysical fundamentals; sensory, mechanical, and chemical procedures, and their interrelationship. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holland.

94. Thompson, D.R.; Wolf, W.C. y Reiceccius, G.A. (1976). Lysine retention in food during extrusion-like process. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 19(5):989.
95. Tueme, J.J. (1978). Efecto de los parámetros de cocimiento y molienda sobre la conducta rológica de las masas nix tamalizadas de maíz blanco (africano) y amarillo (argentino) y mezclas de maíz con sorgo, triticale, soya y trigo. Tesis de Maestría. Escuela de Ciencias Marítimas y Alimentarias. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
96. Wall, J.S. y Ross, W.M. (1975). Producción y usos del sorgo. Centro Regional de ayuda Técnica. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
97. Watson, T.G. (1975). Inhibition of microbial fermentation by sorghum grain and malt. J. Appl. Bacteriol. 18:133-142.
98. Winton L., Andrew. (1950). The structure and composition of foods. Vol. I. John Wiley & Sons, Inc. New York.

VII. APENDICE

ANALISIS PROXIMALHumedad

Es indispensable conocer la humedad de la muestra para darle un valor real a la cantidad de los otros componentes, por otro lado el dato de humedad está relacionado con la edad y/o el estado de conservación de la muestra.

Material: Pesafiltros, estufa, desecador y balanza analítica.

Procedimiento: Pesar de 2 a 3 g de muestra preparada en un pesafiltro de aluminio con tapa que ha sido previamente pesado después de secarlo 2 h a $130^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Secar la muestra 1 hora a la estufa a $130^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ con la ventilación abierta. Retirar de la estufa, tapar, dejar enfriar en desecador y pesar tan pronto como se equilibre con la temperatura ambiente.

Cálculos: Calcular el porcentaje de humedad, reportándola como pérdida por secado a 130°C .

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(A - B) \times 100}{M}$$

donde: A = Peso pesafiltro más muestra

B = Peso pesafiltro más muestra después de secar a la estufa.

M = Peso de muestra

Cenizas

Las cenizas incluyen todos los compuestos inorgánicos fijos de la muestra, tanto los originales como los de contaminación.

Material: Crisoles, pinzas para crisol, mechero, mufla, desecador, estufa y balanza analítica.

Procedimiento: Pesar con precisión 5 g de la muestra en la cápsula previamente pesada después de calcinarla 2 h a 600°C. Calcinar la muestra, para ello carbonizar primero con mechero y meter a la mufla cuidando que la temperatura no pase de 550°C para evitar que los cloruros se volatilicen. Se suspende el calentamiento cuando las cenizas estén blancas o grises (si se observan puntos negros, se humedecen con unas gotas de agua destilada, se secan en la estufa a 130°C y se vuelven a calcinar) Enfriar en desecador y pesar.

Cálculos:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{Peso cap.} + \text{cenizas}) - (\text{Peso cap. vacía}) \times 100}{\text{Peso muestra}}$$

Proteína Cruda

La proteína cruda es un dato obtenido a partir del nitrógeno total de la muestra; suponiendo que las proteínas tienen un contenido invariable de 16% de nitrógeno el factor que resulta de $100/16 = 6.25$. La excepción son las proteínas que provienen de la leche donde el factor es 6.38 y las del trigo con factor de 5.7.

Método de Kjeldahl

Fundamento: Las proteínas y demás materia orgánica son oxidadas por el ácido sulfúrico; el nitrógeno que se encuentra en forma orgánica se fija como sulfato de amonio. Al hacer reaccionar esta sal con una base fuerte se desprende amoniaco que se destila y se recibe en un volumen conocido de ácido valorado. Por titulación del ácido no neutralizado se calcula la cantidad de amoniaco desprendido y así, la cantidad de nitrógeno de la muestra. El porcentaje de nitrógeno multiplicado por el factor 6.25 nos dá el porcentaje de proteína cruda.

Material: Matraces macrokjeldahl, balanza analítica, digestor, probetas, destilador, matraces Erlenmeyer y bureta.

Reactivos: H_2SO_4 conc., reactivo de selenio (mezcla de catalizadores preparada especialmente para esta determinación), NaOH al 50%, una mezcla de indicadores (indicador A: 100 mg de fenolftaleína aforados a 100 ml con alcohol etílico. Indicador B 33 mg de verde de bromocresol + 66 mg de rojo de metilo aforados a 100 ml con alcohol etílico) como indicador y ácido bórico al 2%.

Procedimiento: Se pesan en balanza analítica de 0.5 a 1.0 g de muestra en papel delgado blanco y con todo y papel se introduce en un matraz Kjeldahl de 800 ml; se agregan de 7 a 8 g de reactivo de selenio y 25 ml de H_2SO_4 conc., y algunas piedras de ebullición. Se coloca el matraz en posición inclinada mediante soporte y pinzas, se calienta bajo la campana con parrilla eléctrica, primero lentamente hasta que cesen los humos blancos. Se coloca un embudo de cola corta en la boca del matraz y se sigue calentando, aumentando ligeramente la intensidad del calor hasta la total destrucción de la materia orgánica. La solución debe quedar completamente clara, enfriar y diluir con 300 ml de agua destilada y enfriar sobre hielo. Añadir 80 ml de sosa al 50% que también ha sido enfriado sobre hielo. La adición de sosa debe hacerse de manera que ésta regrese lentamente por la pared del matraz, de tal forma que se estratifiquen las dos soluciones. Conectar inmediatamente el matraz a la alargadera de Kjeldahl, unida al refrigerante que a su vez está conectado a una alargadera la cual va introducida en 50 ml de ácido bórico al 2% contenidos en un matraz Erlenmeyer de 500 ml adicionados de 5 gotas de indicador. Antes de la destilación es necesario verificar el ajuste perfec-

to de los tapones y alargaderas, para evitar fugas. Una vez conectado el matraz, agitar para mezclar las dos capas e inmediatamente colocar en la parrilla ya caliente del aparato, regular la ebullición al inicio de ésta agitando de vez en cuando. Destilar aproximadamente 250 ml. Suspender la destilación, retirando primero el matraz con el destilado de manera que la alargadera quede por encima y antes de apagar la parrilla dejar destilar unos minutos con el objeto de lavar la alargadera por dentro y después lavarla por fuera recogiendo los lavados en el mismo matraz. Titular con una solución valorada de HCl 0.1 N, hasta el vire de un color verde a rojo-fresa. Hacer un blanco utilizando un pedazo de papel igual al que se usó para la muestra y procediendo de la misma manera.

Cálculos:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml del blanco} - \text{ml del problema}) \times N_{\text{HCl}} \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de la muestra en g}}$$

$$\% \text{ Proteína cruda} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

Grasa Cruda ó Extracto Etéreo

La grasa cruda se obtiene por extracción de los lípidos con éter etílico por lo que puede denominarse extracto etéreo.

Material: Extractor de soxhlet que consta de tres partes: un extractor, un matraz y un refrigerante unidos por juntas esmeriladas; cartucho, balanza analítica, estufa, pinzas y desecador.

Reactivos: Eter etílico.

Procedimiento: Pesar la muestra en cartucho o bien en papel filtro; se pesa primero el cartucho, después se coloca la muestra (2 a 5 g) dentro del mismo y se vuelve a pesar. Se coloca el cartucho en el extractor tomando la precaución de colocar

algodón sobre la muestra. Por otro lado, el matraz con unas piedras porosas para regular la ebullición se lleva a la estufa a 100°C durante 2 h, se enfría en el desecador y se pesa. Enseguida se conecta el matraz al extractor y éste al refrigerante (sin utilizar grasa en las juntas). Se agrega el éter por el refrigerante en cantidad de dos cargas y se calienta el matraz con parrilla cerrada. Generalmente de 6 a 8 h son suficientes para extraer toda la grasa pero puede hacerse una prueba dejando caer las últimas gotas de la descarga sobre un vidrio de reloj o sobre un papel filtro. Al evaporarse el éter no debe dejar residuo de grasa. Se saca el cartucho con la muestra desengrasada y se guarda en un frasco, se sigue calentando hasta la casi total eliminación del éter, recuperándolo antes de que se descargue. Se quita el matraz y se calienta bajo campana hasta la total evaporación del éter. Secar el extracto a 100°C por 30 min., enfría y pesar.

Cálculos:

$$\% \text{ Grasa cruda} = \frac{\text{Peso del matraz} - \text{Peso del matraz vacío}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Fibra Cruda

La fibra cruda es la fracción orgánica de la muestra que resiste un tratamiento alternado de ácido sulfúrico y sosa hirviendo al 1.25%. El compuesto más abundante de este residuo es el carbohidrato celulosa y en menores cantidades hemicelulosas, ligninas y pentosanos.

Material: Vaso Berzelius, papel seda, matraz kitasato, alargadera, embudo de vidrio, crisol gooch, estufa, mufla, desecador y balanza analítica.

Reactivos: H_2SO_4 al 1.25% (0.255 N), NaOH al 1.25% (0.313 N) y asbesto preparado.

Procedimiento: Pesar de 2 a 5 g de muestra desengrasada, colocar la muestra en el vaso digestor, añadir 1 g de asbesto preparado y 200 ml de solución de H_2SO_4 al 1.25% (0.255 N) hirviente. Calentar de inmediato (debe empezar a hervir antes de 1 min), reflujar durante 30 min, rotando el vaso de vez en cuando para incorporar las partículas que se pegan en la pared del vaso. Filtrar a través de papel seda especial, usando vacío y lavar con agua destilada caliente hasta que no dé reacción ácida al rojo de metilo. El residuo que quedó en el filtro se pasa por medio de una espátula al vaso digestor ya limpio y se repite la operación con solución hirviente de sosa al 1.25% (0.313 N). Después de reflujar los 30 min, se filtra sobre el mismo papel seda, se lava con 25 ml de H_2SO_4 al 1.25% hirviente y con tres porciones de 50 ml de agua destilada caliente, comprobar que el filtrado no dé reacción alcalina. Pesar cuantitativamente el residuo a un vaso de precipitados lavando con agua, y se filtra sobre un crisol gooch que lleva una delgada capa de asbesto y que ha sido calcinado durante 1 h a $600^{\circ}C$, se lleva a la estufa a $130^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ durante 2 horas, enfriar y pesar. Llevar a la mufla y calcinar a $600^{\circ}C \pm 15^{\circ}C$ durante 30 min, enfriar y pesar

Preparación del asbesto. Una delgada capa de asbesto se coloca en una cápsula y se lleva a la mufla a $600^{\circ}C$ durante 16 h. Se hierve con solución de H_2SO_4 al 1.25% durante 30 min, se filtra, se lava perfectamente con agua y se hierve con solución de NaOH al 1.25% durante 30 min, se filtra, se lava una vez con solución de H_2SO_4 al 1.25%, se lava perfectamente con agua, se seca y se calcina 2 h a $600^{\circ}C$.

Cálculos:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{(A - B) \times 100}{m}$$

A = Peso del gooch después de 2 h a 130°C con la muestra

B = Peso del gooch después de calcinar 30 min a 600°C

m = Peso de la muestra original (corregir el peso de la muestra de acuerdo al % de grasa cruda encontrado).

Carbohidratos Asimilables

Son los carbohidratos no fibrosos como los almidones y los azúcares. Si se suman los porcentajes de humedad, cenizas, proteína, grasa cruda y fibra cruda y el total se resta de 100, se puede suponer que esta diferencia son los carbohidratos asimilables (NIFEXT según la terminología sajona).

Determinación de Calcio

Los alimentos de origen vegetal y animal contienen calcio en forma de sales orgánicas; el calcio de origen animal es más fácilmente absorbido por la mucosa intestinal, esto se debe a que la absorción de este mineral está condicionada por la presencia de otros factores que la favorecen o impiden. La presencia de fitatos y oxalatos reduce la absorción del calcio, por ello el calcio de los cereales que son ricos en ácido fólico y el de la espinaca que es rica en ácido oxálico, se absorbe en menor proporción. En cambio el calcio de la leche, alimento que tiene lactosa, fósforo y vitamina D, es absorbido en mayor proporción.

Material: Cápsula de porcelana, pinzas para crisol, pipeta de 10 ml, parrilla de calentamiento con agitación, probeta de 50 ml, embudo de vidrio, matraz aforado de 100 ml, vaso de preci

pitado de 250 ml, filtro de vidrio poroso, kitasato, bureta, mufla y balanza analítica.

Reactivos: HCl conc. HCl (1 + 4), H₂SO₄ (1 + 4), sol. saturada de oxalato de amonio, indicador rojo de metilo y sol. de KMnO₄ 0.05 N.

Procedimiento: Calcinar de 10 a 50 g de muestra a 500-550°C hasta obtener cenizas blancas. Humedecer con 5-10 ml de HCl conc. hervir 2 min, evaporar a sequedad en baño María y dejarlo en el baño por 1 h, humedecer el residuo con 5 ml de HCl conc. hervir 2 min, adicionar 50 ml de agua, calentar a baño María durante 15 min, filtrar recibiendo en un matraz aforado de 100 ml, lavar cuantitativamente y aforar (Sol. A). Transferir 25 ml de la solución a un vaso de precipitados de 250 ml, adicionar agua a tener un volumen de 50 ml, calentar a ebullición y adicionar 10 ml de la solución saturada de oxalato de amonio y unas gotas de indicador, adicionar amoniaco gota a gota hasta llegar cerca del punto de neutralización y hervir hasta que precipite el oxalato de calcio. Enfriar y adicionar HCl (1 + 4) hasta color rosa (pH = 5) y dejar en reposo aproximadamente 4 h como mínimo (de preferencia toda la noche). Filtrar usando un filtro de vidrio poroso y lavar con agua hasta que los últimos 50 ml del filtrado adicionados de 5 ml de H₂SO₄ (1 + 4) y calentando hasta ebullición incipiente NO decolore una gota de solución 0.05 N de KMnO₄. Lavar perfectamente el matraz kitasato y proceder a la disolución del precipitado con H₂SO₄ diluido (10 ml de H₂SO₄ + 250 ml de agua) caliente, titular en caliente con la solución de KMnO₄ 0.05 N hasta coloración rosa permanente.

Cálculos:

1 ml de sol. KMnO₄ 0.05 N equivale a 1 mg de calcio, por lo

tanto:

$$1 \text{ mg Ca} \times \frac{\text{Vol. KMnO}_4 \text{ 0.05 N}}{1 \text{ ml KMnO}_4 \text{ 0.05 N}} \times \frac{100}{25} \times \frac{100}{m} = \text{mg de Ca/100 g de harina.}$$

m = Peso de la muestra en g.

Determinación de Taninos

El método de cuantificación de taninos en grano de sorgo, se basa en la reacción efectuada en medio ácido entre aldehídos aromáticos y núcleos de resorcino o fluoroglucinol, donde el aldehído vainillina sufre una protonación y reacciona con una molécula de catequina, dando un compuesto intermediario que es deshidratado rápidamente para producir un compuesto de color rojo.

El método mide contenido de taninos condensados, como son catequina y leucoantocianidinas.

Material: Matraces Erlenmeyer de 50 ml, probetas de 100 ml, pipetas volumétricas de 1 y 5 ml, vasos de precipitados de 250 ml, matraces volumétricos de 50 ml, tubos para centrifuga, tubos de ensayo, centrifuga y balanza analítica.

Reactivos: Mezcla de extracción (HCl en metanol al 1%), solución A (HCl en metanol al 8%), solución B (vainillina en metanol al 4%, preparada diariamente), solución C (HCl en metanol al 4%) y catequina.

Curva estándar: Preparar una curva patrón disolviendo 50 mg de catequina en 50 ml de metanol. Con esta solución preparar las siguientes concentraciones: 0.05, 0.10, 0.25 y 0.50 mg/ml, adicionando respectivamente 2.5, 5.0, 12.5 y 25 ml de solución patrón a matraces volumétricos de 50 ml y completando el volumen con metanol. De cada matraz tomar 1 ml y agregar 5 ml de la mezcla de reacción (solución A + solución B, 1:1), hacer

esto por duplicado y leer a 500nm después de 20 min de reacción.

Procedimiento: Se pesan 0.5 g \pm 3 mg de harina colocándola en un matraz Erlenmeyer de 50 ml. Agregar 25 ml de la mezcla de extracción, tapar y agitar los matraces durante 2 h 30 min, centrifugar 6 ml de la muestra en un tubo de vidrio de 10 ml a 3 000 x G durante 10 min. Tomar dos alícuotas de 1 ml de sobrenadante colocándolas en tubos de ensaye, uno en la reacción con vainillina y el otro en el blanco. Preparar la mezcla de reacción usando las soluciones A y B en proporción 1:1, esta mezcla debe hacerse al instante de ser usada, pues por oxidación se altera su color de claro a amarillento. Preparar la mezcla para el blanco usando las soluciones A y C en proporción 1:1. Agregar 5 ml de la mezcla de reacción (A y B) a uno de los tubos conteniendo el sobrenadante, cronometrando el tiempo de reacción. Agregar 5 ml de la mezcla A y C para el blanco, al otro tubo. A partir del instante en que se adicionaron las mezclas, cronometrar 20 min para efectuar las lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 500 nm.

La mezcla de reacción (solución A y B) es usada para ajustar el 100% de transmitancia en el colorímetro, antes de hacer las lecturas.

Cálculos:

$$\text{Equiv. de catequina} = \frac{5 \times \text{Abs. corregida} \times 100}{b(100 - \%H)}$$

donde:

Abs. corregida = Abs. muestra - Abs. del blanco.

b = Pendiente de la curva patrón.

%H = Porcentaje de humedad de la muestra

Determinación de Acidez

La acidez de las harinas va a estar dado por la liberación de ácidos grasos a partir de los acilglicéridos. Esta va ir aumentando a medida que transcurre el tiempo además de las condiciones de almacenamiento inadecuadas; así la luz, el calor, el oxígeno y la presencia de algunos metales acelera el deterioro de las muestras. El aumento de la acidez favorece el enranciamiento.

Material: Matraces Erlenmeyer de 100 y 250 ml, tapones, probeta de 100 ml, agitador mecánico (opcional), embudo, papel filtro, pipeta volumétrica de 25 ml, bureta, charola y balanza.

Reactivos: Benceno, solución de alcohol-fenolftaleína 0.04% (a 1 litro de alcohol adicionar 0.4 g de fenolftaleína), solución estándar de hidróxido de potasio 0.0178 N, libre de carbonatos (1 ml = 1 mg de KOH).

Procedimiento: Pesar 20 ± 0.01 g de muestra dentro de un matraz de 100 ml. Adicionar exactamente 50 ml de benceno, insertar un tapón, agitar durante unos segundos para saturar con vapor de benceno el aire que se encuentra dentro del matraz, quitar momentáneamente el tapón del matraz para disminuir la presión, colocar nuevamente el tapón. Agitar el matraz por 30 min en un agitador mecánico, ó periódicamente con la mano durante 45 min. Inclinar el matraz en un cierto ángulo durante un tiempo ≥ 3 min. Decantar con cuidado la mayor parte de líquido posible sobre un embudo que lleve puesto papel filtro y, recibir en un recipiente enfriado con hielo en la parte externa para reducir la evaporación. Colectar exactamente 25 ml del filtrado con una pipeta volumétrica de 25 ml. Transferir éste filtrado a un matraz de 250 ml. Agregar al matraz 25 ml de la solución de alcohol-fenolftaleína. Titular con la solución estándar de KOH

hasta distinguir un color rosa (en el caso de maíz blanco), o bien un rosa-naranja (en el caso de maíz amarillo).

Determinar un blanco titulando una mezcla de 25 ml de benceno y 25 ml de solución alcohol-fenolftaleína.

Cálculos: Reportar la acidez de la grasa como mg de KOH requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres de 100 g de harina, base seca.

Acidez = $10 \times (A - B)$, calculado en base seca

A = ml gastados en la titulación de la muestra.

B = ml gastados en la titulación del blanco.

Índice de Absorción y Solubilidad en Agua

Material: Cajas Petri, agitador mecánico, tubos para centrifuga, centrifuga, balanza analítica y estufa.

Procedimiento: En un tubo de centrifuga se coloca una muestra de harina de 2.5 g y se le añaden 30 ml de agua. La suspensión es mantenida a 30°C por 30 min siendo sometida a agitación intermitente durante este período. En seguida la suspensión se centrifuga a 3 000 x G durante 10 min, el sobrenadante se separa cuidadosamente en una caja petri (previamente tarada) y se determina el peso del residuo sólido. El sobrenadante se evapora en estufa a 105°C hasta peso constante de la caja petri con el residuo de evaporación.

Cálculos:

$$IAA = \frac{\text{Peso del residuo de centrifugación}}{\text{Peso seco de muestra} - \text{Peso del residuo de evaporación}}$$

$$ISA = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación}}{\text{Peso seco de la muestra}}$$

Determinación de la Viscosidad de las Harinas

Material: Balanza, espátula, probeta de 500 ml, vaso de precipitado de 500 ml y viscosímetro Brabender.

Procedimiento: Se pesan 45 g de muestra (base seca) introduciéndolos en un vaso de precipitados de 500 ml, se agregan 450 ml de agua y se homogeneizó perfectamente. Posteriormente se introdujo la suspensión en la celda de calentamiento del aparato, conectando inmediatamente el registrador. La temperatura inicial de 25°C fué aumentada 1.5°C/min hasta una temperatura máxima de 95°C permaneciendo constante en esa temperatura durante 20 min. A continuación se conecta el ciclo de enfriamiento con disminución de temperatura a razón de 1.5°C/min hasta una temperatura final de 50°C (este ciclo dura 30 min). Finalmente se quita manualmente la plumilla del registrador y se apaga el aparato.

Determinaciones con el Instron

En Masas: Se pesan 150 g de masa (en forma de bola) con una altura de 4.5 cm aproximadamente y se introduce en un recipiente cilíndrico. Se emplea una celda reversible de 500 Kg usando el accesorio de retroextrusión al que se le incorpora un émbolo. Finalmente se le aplica una fuerza necesaria para comprimir el 97.22% de la masa; registrándose su comportamiento en el graficador del aparato.

Acotaciones:

- Velocidad de la celda: 10 cm/min
- Velocidad del registrador: 20 cm/min
- Características del recipiente cilíndrico:

- Diámetro interno: 10.1 cm	- Altura interna: 8.4 cm
- Diámetro externo: 11.3 cm	- Altura externa: 10.9 cm

- Características del émbolo:
 - Diámetro de la base: 4.4 cm
 - Espesor de la base: 1.3 cm

En Tortillas: Se pone una tortilla en medio de 2 placas metálicas, que se encuentran perforadas en su parte central, y se pone en una base intermedia del aparato que se encuentra a cierta altura, dejando libre las perforaciones de las placas tanto en su parte superior como en la parte inferior. Se emplea una celda de compresión de 2 kg y el accesorio de punción tipo estrella, el cual atraviesa a la tortilla penetrando por la perforación de la placa metálica superior y saliendo por la perforación de la placa metálica inferior; registrando su comportamiento en el graficador del aparato.

Acotaciones:

- Velocidad de la celdas: 10 cm/min
- Velocidad del registrador: 20 cm/min
- Características de las placas:
 - Placas de 9.9 x 10.5 cm
 - Espesor de las placas: 1.25 cm
 - Diámetro interno de las perforaciones: 1.6 cm
- Característica del punzón:
 - Diámetro del punzón: 0.95 cm

Determinación de Color

La determinación del color se efectúa utilizando un colorímetro de reflectancia "Hunter-Lab", que mide el color de las superficies planas, simulando la luz del día y cuyo principio se basa en registrar la intensidad de la luz absorbida por el color negro y la reflejada por el color blanco, así como la des

composición de la luz en los colores básicos: azul, rojo, amarillo y la mezcla de ellos: morado, verde y naranja.

Los valores del color son leídos directamente en tres escalas "L", "a" y "b".

Procedimiento: El aparato se calibra de acuerdo a los valores "L", "a" y "b" del patrón del color más próximo al color de la muestra problema, posteriormente se coloca la muestra en el recipiente que acompaña el colorímetro y se efectúan las lecturas.

Cálculos: El valor promedio en cada prueba se sustituye en la fórmula siguiente:

$$E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

donde: ΔE = Color de la superficie.

L = Mide la brillantez y varía desde 100 para el blanco perfecto y 0 para el negro.

a = Mide el color rojo en la parte positiva (+a) y el color verde en la parte negativa (-a).

b = Mide el color amarillo en la parte positiva (+b) y el color azul en la parte negativa (-b).

Resultados obtenidos de "L", "a" y "b" en las determinaciones de color por reflectometría de harinas procesadas.

- Muestras Nixtamalizadas

Muestras	L	a	b
M-100	75.2	0.7	18.1
SP-100	67.3	-0.2	17.2
SB-100	67.3	-1.0	17.8
M85-SP15	73.6	0.6	17.6
M85-SB15	73.0	0.5	19.3
M70-SP30	72.0	0.5	16.6
M70-SB30	71.1	0.3	19.6
M60-SP40	70.4	0.4	16.0
M60-SB40	68.3	0.2	18.5

- Muestras Extrudidas

Muestras	L	a	b
M-100	78.6	-1.4	15.1
SP-100	72.8	-2.5	14.1
SB-100	71.0	-1.7	16.7
M85-SP15	79.1	-1.7	13.9
M85-SB15	78.5	-1.4	14.5
M70-SP30	78.2	-1.5	13.5
M70-SB30	77.9	-1.2	14.3
M60-SP40	76.6	-1.4	13.9
M60-SB40	76.6	-1.1	15.2

Resultados obtenidos de "L", "a" y "b" en las determinaciones de color por reflectometría de tortillas.

- Muestras Nixtamalizadas

Muestras	L	a	b
M-100	61.6	1.0	18.6
SP-100	55.2	0.9	16.2
SB-100	50.7	0.9	17.0
M85-SP15	59.5	0.4	17.4
M85-SB15	59.3	1.2	16.4
M70-SP30	60.1	0.5	16.6
M70-SB30	59.0	1.1	16.6
M60-SP40	59.0	0.7	16.7
M60-SB40	58.1	1.0	16.4

- Muestras Extrudidas

Muestras	L	a	b
M-100	60.1	-0.2	16.8
SP-100	50.5	-1.2	13.5
SB-100	48.2	0.2	16.4
M85-SP15	57.6	0.0	16.5
M85-SB15	58.2	0.7	17.3
M70-SP30	57.3	0.4	15.5
M70-SB30	56.5	0.8	16.5
M60-SP40	56.4	0.7	16.0
M60-SB40	55.9	1.3	16.8

Resultados obtenidos de "L", "a" y "b" en las determinaciones de color por reflectometría de harinas de tortillas.

- Muestras Nixtamalizadas

Muestras	L	a	b
M-100	71.9	0.0	17.0
SP-100	62.5	0.9	17.1
SB-100	63.0	0.6	18.6
M85-SP15	71.7	-0.1	16.4
M85-SB15	71.3	0.2	17.6
M70-SP30	70.0	0.4	16.5
M70-SB30	69.3	0.4	17.7
M60-SP40	66.0	0.6	17.3
M60-SB40	68.4	0.4	17.9

- Muestras Extrudidas

Muestras	L	a	b
M-100	71.7	-1.2	15.3
SP-100	57.1	-0.8	15.0
SB-100	60.2	-0.5	18.4
M85-SP15	71.0	-0.8	15.7
M85-SB15	70.5	-0.6	16.4
M70-SP30	69.3	-0.5	16.8
M70-SB30	69.7	-0.5	15.6
M60-SP40	65.3	0.3	15.0
M60-SB40	66.2	0.1	17.3

EVALUACION SENSORIAL DE TORTILLAS

FECHA _____

JUEZ _____

CADA MUESTRA SERA ANALIZADA CON TRES PARAMETROS, EL PARAMETRO DE APARIENCIA GENERAL INCLUYE TEXTURA (PROPIEDADES DE DOBLADO Y ENROLLADO), EL SABOR Y EL DE CONSISTENCIA AL MASTICADO.

LOS NIVELES DE EVALUACION SERAN:	EXCELENTE	1
	BUENO	2
	REGULAR	3
	MALO	4
	PESIMO	5

MUESTRA	TEXTURA	SABOR	CONSISTENCIA AL MASTICAR
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----

OBSERVACIONES: _____

