

2ej. 111



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

## "Comparación Química y Biológica de Mezclas de Maíz y Sorgo Nixtamalizadas y Extrudidas"



### T E S I S

EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

Que para Obtener el Título de:

### Químico Farmacéutico Biólogo

Presenta:

### María Victoria Saldaña Morales



## **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.

# I N D I C E

|   | Página |
|---|--------|
| I. Introducción   | 1      |
| II. Objetivos   | 4      |
| III. Generalidades  |        |
| 3.1 Maíz  |        |
| 3.1.1 Descripción general   | 6      |
| 3.1.2 Composición química y valor nutritivo                         | 7      |
| 3.2 Sorgo   |        |
| 3.2.1 Descripción general   | 11     |
| 3.2.2 Composición química y valor nutritivo                         | 13     |
| 3.3 Métodos de cocción del maíz                                     |        |
| 3.3.1 Proceso tradicional   | 17     |
| 3.3.2 Molinos de nixtamal   | 17     |
| 3.3.3 Harina de maíz nixtamalizado                                  | 20     |
| 3.4 Métodos alternativos de cocción                                 |        |
| 3.4.1 Extrusión   | 22     |
| 3.4.2 Cocción en tambores   | 26     |
| 3.4.3 Micronización   | 27     |
| 3.5 Proceso alternativo seleccionado                                | 27     |
| IV. Materiales y Métodos  | 29     |
| 4.1 Análisis físico de los granos                                   | 29     |
| 4.2 Análisis químico de los granos                                  | 31     |
| 4.3 Procesos de cocción   | 31     |
| 4.3.1 Nixtamalización   | 32     |
| 4.3.2 Extrusión   | 32     |
| 4.4 Análisis químico de harinas nixtamalizadas y harinas extrudidas | 36     |

|   | Página |
|---|--------|
| 4.5 Pruebas biológicas                      | 37     |
| 4.5.1 Relación de eficiencia proteica (REP) | 38     |
| 4.5.2 Digestibilidad aparente (DA)          | 41     |
| V. Resultados y Discusión                   | 42     |
| VI. Conclusiones y Recomendaciones          | 67     |
| VII. Bibliografía                           | 70     |
| VIII. Apéndice A                            | 79     |
| IX. Apéndice B                              | 91     |

## I. INTRODUCCION

Durante siglos el maíz ha sido el alimento básico del pueblo mexicano y las tortillas su principal forma de consumo. El proceso de elaboración de tortillas utiliza el método tradicional de cocimiento llamado "nixtamalización", derivado del Náhuatl nextli: cenizas de cal, y tamalli: masa de maíz. La nixtamalización o tratamiento térmico-alkalino, involucra el cocimiento de los granos de maíz por ebullición en una lechada de cal. Este método se ha descrito y estudiado por varios autores (Illescas, 1943; Bresani y col., 1958; Del Valle, 1972).

La tortilla es la principal fuente calórica en la dieta de nuestro país. Su proceso tradicional de elaboración es lento y consume mucha energía. En el caso de las áreas rurales, este trabajo es realizado por la mujer campesina y en las ciudades a pesar de que es procesada en forma mecánica, representa una de las fuentes más importantes de contaminación del agua debido a la generación de aguas residuales que favorecen el crecimiento de microorganismos que consumen el oxígeno disuelto en los acuíferos.

Varios procesos alternativos han sido estudiados para minimizar el consumo de agua, energía y tiempo. Uno de los procesos involucra un secador de tambor al cual se le atribuye un ahorro considerable de energía (Molina y col., 1977). La micronización, otro proceso alternativo, involucra el uso de radiación infrarroja para dar calor al grano. Según algunos autores, este es un proceso más rápido y económico que la nixtamalización tradicional en fábricas, debido a que se evitan los tiempos largos de cocimiento y remojo y los altos costos de secado que tiene el método común de producción. La micronización es un método potencial de procesamiento de sorgo para consumo humano (Johnson y col., 1980; Rusanak y col., 1980).

Otra alternativa estudiada es el proceso de extrusión (Bazúa y col., 1979; 1980; Guerra y col., 1983). Actualmente, este proceso ha adquirido un puesto relevante entre las operaciones unitarias utilizadas en la industria de alimentos aunque todavía encaminada, de manera substancial, más hacia la texturización que hacia la cocción como tal (Rossen y Miller, 1973; Guerra, 1978).

La extrusión es un método con gran capacidad de producción. Además abarca un amplio campo de utilización, como es texturización de proteínas vegetales y formación e impartición de densidades diversas en los productos (bocadillos, cereales, productos imitación carne, etc.).

Los extrusores, en función de sus mínimos requerimientos de agua y mano de obra, así como de área de trabajo disminuyen sensiblemente los costos de producción (Horn y Bronikowski, 1979; Hauck, 1980; 1981).

México ha sido en los últimos veinte años uno de los países con tasas de crecimiento demográfico más elevadas, y la problemática en la fase de producción del maíz, se presenta agudamente en todo el territorio mexicano. La insuficiencia de la producción nacional con respecto al consumo de este grano se debe en parte, a la sustitución de campos dedicados al cultivo maicero por cultivos que son más redituables como es del sorgo, lo que ha aumentado la producción de éste, mientras que la del maíz ha permanecido estática (Cuadro 1), razón por la cual ha sido necesario importar maíz para consumo humano. En vista de que el sorgo representa el segundo cultivo a nivel nacional, se han realizado estudios tendientes a utilizar este cereal como alimento para la población complementando al maíz como fuente energética (Betanzos, 1970; 1974; Durán y Venado, 1977; Rizley y Suter, 1977; Rodríguez y Ruano, 1977; Bazúa y col., 1978; Alarcón y col., 1979; 1985).

En el presente trabajo, se evalúa el uso de la tecnología de extrusión como un método alternativo al proceso común de nixtamalización de los cereales maíz, sorgo integral, sorgo perlado, y sus mezclas comparando los efectos que tienen ambos procesos en el valor nutritivo de las harinas así obtenidas, mediante la realización de pruebas químicas y biológicas.

**Cuadro 1. Superficie cosechada, Producción anual y Rendimiento agronómico de Maíz y de Sorgo.**

|      | MAÍZ                               |                            |                      | SORGO                              |                            |                      |
|------|------------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------|
|      | SUPERFICIE COSECHADA (miles de Ha) | PRODUCCION (miles de Ton.) | RENDIMIENTO (Ton/Ha) | SUPERFICIE COSECHADA (miles de Ha) | PRODUCCION (miles de Ton.) | RENDIMIENTO (Ton/Ha) |
| 1955 | 7 703                              | 8 936                      | 1.16                 | 314                                | 747                        | 2.38                 |
| 66   | 7 731                              | 9 271                      | 1.19                 | 576                                | 1 411                      | 2.45                 |
| 67   | 8 779                              | 8 603                      | 0.98                 | 672                                | 1 657                      | 2.48                 |
| 68   | 7 650                              | 9 062                      | 1.13                 | 330                                | 2 133                      | 2.57                 |
| 69   | 7 128                              | 8 411                      | 1.16                 | 683                                | 2 456                      | 2.70                 |
| 70   | 7 461                              | 8 879                      | 1.13                 | 922                                | 2 747                      | 2.98                 |
| 71   | 7 706                              | 9 786                      | 1.27                 | 925                                | 2 516                      | 2.62                 |
| 72   | 7 320                              | 9 223                      | 1.25                 | 1 111                              | 2 612                      | 2.35                 |
| 73   | 7 619                              | 8 609                      | 1.13                 | 1 185                              | 3 270                      | 2.76                 |
| 74   | 6 707                              | 7 848                      | 1.17                 | 1 155                              | 3 499                      | 3.03                 |
| 75   | 6 705                              | 3 449                      | 1.26                 | 1 443                              | 4 123                      | 2.85                 |
| 76   | 6 794                              | 8 017                      | 1.18                 | 1 351                              | 4 029                      | 3.50                 |
| 77   | 7 454                              | 10 138                     | 1.35                 | 1 413                              | 4 325                      | 3.06                 |
| 78   | 7 191                              | 10 930                     | 1.52                 | 1 397                              | 4 193                      | 3.00                 |
| 79   | 5 558                              | 8 449                      | 1.52                 | 1 160                              | 3 504                      | 3.02                 |
| 80   | 6 968                              | 10 383                     | 1.49                 | 1 577                              | 4 841                      | 3.07                 |
| 81   | 8 158                              | 14 766                     | 1.81                 | 1 769                              | 6 296                      | 3.56                 |
| 82   | 5 475                              | 10 129                     | 1.85                 | 1 275                              | 4 717                      | 3.70                 |
| 83   | 7 421                              | 13 061                     | 1.76                 | 1 519                              | 4 846                      | 3.19                 |

Fuente: Dirección General de Economía Agrícola, SARN, México.

## II. OBJETIVOS

Con base en el panorama general se planteó la realización de un proyecto global de investigación, apoyado por la O.E.A., que contemplara el estudio integral del maíz con los siguientes puntos: estudios sensoriales, pruebas reológicas, experimentos biológicos, pruebas histopatológicas, estudios de microscopía electrónica, pruebas de vida de anaquel y una evaluación económica comparativa de los dos procesos que permita estudiar la factibilidad del proceso de extrusión y su implementación a escala industrial.

Dentro del contexto de este proyecto, una parte concierne directamente a la evaluación biológica de la calidad de la proteína del maíz, sorgos y sus mezclas, lo que representa el objetivo general del presente estudio.

A continuación se detallan los objetivos a alcanzar en este trabajo:

1. Obtener harinas nixtamalizadas y extrudidas empleando las condiciones de procesamiento idóneas (tiempo de nixtamalización y de retención en el extrusor, concentración de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y temperatura) a los granos de maíz, sorgo integral (colorido), sorgo perlado y mezclas de maíz y sorgos perlado e integral.
2. Valorar el efecto de ambos procesos en la calidad nutritiva de los cereales, empleando ratas Wistar para la determinación de la relación de eficiencia proteica (REP) y la digestibilidad aparente medida por el método del  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  de dietas preparadas con harinas nixtamalizadas y harinas extrudidas de maíz, sorgo integral, sorgo perlado y sus respectivas mezclas.

3. Indicar las diferencias que existan, en cuanto a calidad nutritiva se refiere, entre los dos procesos (nixtamalización y extrusión) tomando como parámetros el análisis químico y las pruebas biológicas.

### III. GENERALIDADES

#### 3.1 MAIZ

##### 3.1.1 DESCRIPCION GENERAL

El maíz conocido botánicamente como *Zea mays* Linnaeus, es una de las semillas más versátiles del mundo y la única gramínea de importancia económica.

El origen de este cereal es un problema aún debatido, pero existe un aspecto cierto, que el maíz es una planta cultivada en nuestro país desde hace más de 5, 000 años y supera a cualquier otro cereal en la riqueza de sus razas y variedades (Wellhausen y col., 1951). Una evidencia arqueológica que revela la presencia primitiva del maíz en América fue el descubrimiento de carozos (olotes) en una cueva conocida con el nombre de Bat Cave, en Nuevo México, y que se calcula datan de unos 2, 000 años antes de la Era Cristiana.

Como la parte del maíz donde se encuentran los granos está encerrada en capas de hojas tenaces, es incapaz de reengendrarse por sí mismo, por lo que no se reproduce si el hombre no lo cuida.

El maíz pertenece a la familia de las herbáceas, y como toda planta monoica, las flores masculinas y femeninas están localizadas en diferentes inflorescencias en el mismo tallo. En una planta se pueden desarrollar una o más mazorcas las cuales contienen de 300 a 1 000 granos cubiertos con hojas (brácteas) ásperas, fibrosas, elásticas e impermeables.

Botánicamente, un grano de maíz recibe el nombre de cariósipside, por el hecho de que el pericarpio sea delgado y esté íntimamente ligado a la semilla. La forma, tamaño, estructura y composición del grano están determinados por su variedad genética (Inglett, 1970).

La estructura general del grano de maíz está constituida por una cubierta externa, formada por pericarpio y aleurona. El pericarpio es la pared del ovario maduro, está compuesto por celulosa y comprende todas las capas exteriores de la célula (testa y aleurona) hasta el recubrimiento de la semilla.

El germen, formado por escutelo (cotiledón) y embrión, es el que contiene casi todas las proteínas que están presentes en el grano de maíz; además de lípidos y minerales.

El endospermo es la porción amilácea del grano, está constituida de dos regiones: endospermo harinoso o suave y endospermo vítreo o duro. La región harinosa tiene mayor contenido de almidón, y la vítrea elevado contenido de proteína.

El endospermo representa el 82% del grano, el germen del 10 al 13% y el pericarpio el 5.5%. Estos porcentajes son variables, ya que la composición del grano depende de muchos factores como son: la tierra, la semilla, el clima, la altitud, la humedad, etc.

### 3.1.2 COMPOSICION QUIMICA Y VALOR NUTRITIVO

El maíz, se considera básicamente un alimento energético por su contenido de almidón y carbohidratos (80%). Como en el caso de la mayoría de los cereales, el maíz tiene bajo contenido de proteínas (alrededor de un 10%) y además, consideradas de baja calidad, ya que el 50% de ellas es zeína, una fracción que no puede ser digerida por animales no rumiantes y, el porcentaje restante es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano, así como en niacina, vitamina que previene la pelagra y se sintetiza a partir del triptofano.

En el Cuadro 2 se muestra la composición química-proximal del grano de maíz.

Cuadro 2. Análisis proximal del maíz dentado.

| Componentes <sup>1</sup> | Promedio<br>% | Intervalo<br>% |
|--------------------------|---------------|----------------|
| Materia seca             | 89            | 87.0 - 91.0    |
| Almidón <sup>2</sup>     | 72            | 64.0 - 78.0    |
| Proteínas                | 10            | 9.3 - 10.7     |
| Lípidos                  | 4.4           | 4.0 - 4.8      |
| Fibra cruda              | 2.2           | 2.1 - 2.3      |
| Cenizas                  | 1.2           | 0.9 - 1.5      |

<sup>1</sup>Anon (1964).

<sup>2</sup>Watson (1967). Datos libres de humedad.

Los Cuadros 3 y 4 presentan la distribución de las proteínas en el germen y endospermo, así como la composición de aminoácidos en estas proteínas.

Cuadro 3. Distribución de proteína en el germen y endospermo del maíz.

| Fracción de proteína* | Germen<br>% | Endospermo<br>% |
|-----------------------|-------------|-----------------|
| Insoluble             | 0.9         | 1.9             |
| Soluble en ácido      | 39.4        | 26.3            |
| Soluble en álcali     | 54.0        | 28.0            |
| Soluble en alcohol    | 5.7         | 43.8            |
|                       | 100.0       | 100.0           |

\*Proteína en el grano entero 8.2%, en el germen 16.1%, en el endospermo 7.2% en peso (Mertz y col., 1958).

Cuadro 4. Aminoácidos del germen y endospermo de maíz normal (Mertz y col., 1966).

| Aminoácidos     | g/100 g de Proteína |            |
|-----------------|---------------------|------------|
|                 | Germen              | Endospermo |
| Lisina          | 6.1                 | 2.0        |
| Histidina       | 2.9                 | 2.8        |
| Arginina        | 9.1                 | 3.8        |
| Acido aspártico | 8.2                 | 6.2        |
| Acido glutámico | 13.1                | 21.3       |
| Treonina        | 3.9                 | 3.5        |
| Serina          | 5.5                 | 5.2        |
| Prolina         | 4.8                 | 9.2        |
| Glicina         | 5.4                 | 3.2        |
| Alanina         | 6.0                 | 8.1        |
| Valina          | 5.3                 | 4.7        |
| Cistina         | 1.0                 | 1.8        |
| Metionina       | 1.7                 | 2.8        |
| Isoleucina      | 3.1                 | 3.8        |
| Leucina         | 6.5                 | 14.3       |
| Tirosina        | 2.9                 | 5.3        |
| Fenilalanina    | 4.1                 | 5.3        |
| Triptofano      | 1.3                 | 0.5        |

Al conocerse las deficiencias del maíz y con el propósito de mejorar las dietas en donde la ingestión de este grano es básico, se han conducido estudios tendientes a mejorar genéticamente el grano, como es el caso del maíz Opaco-2 (Mertz y col., 1964), adición de los aminoácidos esenciales a productos semiprocesados o suplementación de productos terminados con concentrados proteíni-

cos (Bressani y col., 1972).

Otro aspecto nutricional del maíz con gran polémica, se debe a la incidencia de pelagra entre los pueblos consumidores de maíz, afección debida a la falta de niacina, vitamina del complejo B. En los países donde el maíz es cocido en una solución alcalina (proceso térmico-alcalino, conocido como nixtamalización) el padecimiento tiene una incidencia más baja. Este proceso es muy usado en México y algunos países de Centroamérica.

Algunos estudios sugieren que la pelagra puede ser inducida por una desproporcionada relación entre isoleucina-leucina, es decir por una excesiva cantidad de leucina en la dieta. La nixtamalización puede modificar proporcionalmente esta relación (Kodicek, 1960; Balavady y col., 1967; Gopalan, 1970).

La mayoría de las proteínas para consumo humano reciben de alguna manera un tratamiento térmico durante su preparación. En general, el cocimiento aumenta la digestibilidad de las proteínas; aunque, en ciertos casos un calentamiento excesivo puede reducir su valor nutritivo como resultado de la destrucción o una reducción en la digestión, la absorción o la utilización de algún aminoácido esencial. De igual manera, los tratamientos alcalinos se han usado con diferentes proteínas para mejorar su calidad nutritiva, pudiendo alterar también en forma indeseable las proteínas de un alimento.

Así pues, las proteínas de una gran variedad de alimentos cuando son tratadas con calor o con álcali; pueden sufrir reacciones de Maillard (Hurrell y Carpenter, 1981), reacciones entre ellas mismas (Hurrell y Carpenter, 1977), racemización o destrucción de los aminoácidos que las constituyen (Bjarnason y Carpenter, 1970) y formarse inclusive, nuevos compuestos indeseables como la lisinoalanina (LAL) (Sternberg y col., 1975; Sanderson y

col., 1978) cuyo consumo puede producir reacciones nefrotóxicas (Woodard y Short, 1973).

### 3.2 SORGO

#### 3.2.1 DESCRIPCION GENERAL

Los sorgos constituyen un gran número de plantas, incluidas en el género *Sorghum* de la familia de las gramíneas, que tienen diversas aplicaciones y una característica común, su resistencia al calor y a la falta de humedad que ha hecho que fueran conocidos y cultivados desde varios miles de años antes de la Era Cristiana, principalmente en las zonas del Viejo Oriente: Africa Ecuatorial, India y China, desde donde se ha esparcido por todas las regiones tropicales y templadas del mundo, siendo el grano de sorgo, el alimento básico de millares de personas de Africa y Asia.

El sorgo es originario del Hemisferio Oriental. La presencia de esculturas de la planta de sorgo en el palacio de un rey Asirio indican que el grano ya era conocido en el año 700 a.C., aunque se cree tuvo su origen en Africa.

La planta de sorgo tiene una apariencia similar a la de maíz (*Zea mays*), excepto que la inflorescencia terminal del sorgo, la cual produce los granos contiene ambas flores, masculina y femenina. La altura de la planta está comprendida entre 0.5 y 5 m, las hojas son lisas y con superficie cerosa. Las espigas forman una inflorescencia en panícula o panoja la cual puede contener hasta 2 000 semillas. El fruto o grano de sorgo es de forma redondeada, su diámetro varía entre 3-6 mm y en su madurez alcanza diferentes tonalidades y coloraciones que van desde el blanco al café oscuro dependiendo de la cantidad de pigmentos fenólicos presentes. El tamaño, pigmentación y otras características de

las semillas difieren entre las variedades (Inglett y Charalambous 1979; Pomeranz y Munck, 1981).

Las plantas de maíz y sorgo tienen análogas aplicaciones prácticas, pues se cultivan por su grano y por la aplicación forrajera de sus tallos y hojas; sin embargo, al cultivador suele presentársele el problema de cuándo es mejor cultivar una u otra planta.

Las ventajas y desventajas del sorgo sobre el maíz son las siguientes (Ibar, 1984):

- Menor necesidad de agua por sus largas raíces, pues puede aprovechar la humedad del suelo a mayor profundidad. Al cesar el período de sequía, el sorgo puede abandonar su estado de vida latente, recobrando su vitalidad normal.
- El sorgo tolera mejor que el maíz la salinidad del suelo.
- El sorgo tiene mayor rendimiento (Cuadro 1) y su cultivo es más fácil de mecanizar.
- Finalmente, si bien el sorgo es más resistente a los gusanos perforadores del tallo, esta más expuesto a la acción depredadora de los pájaros.

En cuanto a la estructura del grano de sorgo, la cubierta externa la cual esta constituida por celulosa se divide en pericarpio, capa aleurona y testa. En la parte interna se encuentran el germen y el endospermo.

El germen formado por escutelo y embrión, contiene 70% de lípidos, 15% de proteína y 20% de cenizas.

El endospermo representa la mayor parte del grano y está formado de endospermo periferial y dos áreas, la harinosa y la vítrea. El principal carbohidrato almacenado en el endospermo es el almidón, en forma de gránulos. La composición y el rendimien-

to del grano están influenciados por factores ambientales y de cultivo (Inglett y Charalambous, 1979).

Los sorgos por su aplicación, pueden reunirse en cuatro grandes grupos (Ibar, 1984):

- Sorgo de grano = *Sorghum bicolor*.
- Sorgo dulce o de jarabe = *Sorghum saccharatum*.
- Sorgo de escobas = *Sorghum saccharatum*, var. *technicum*.
- Sorgos exclusivamente de forraje = Sorgo del Sudán (*S. sudanese*); Sorgo de Túnez (*S. virgatum*); Sorgo de Alepo (*S. halepense*) y Sorgo negro (*S. alimum*).

### 3.2.2 COMPOSICION QUIMICA Y VALOR NUTRITIVO

La composición del grano de sorgo es muy parecida a la del maíz. Por la facilidad en que se separan las glumas, el sorgo tiene baja cantidad de fibra celulósica, la cantidad de proteínas es ligeramente superior que en el maíz y arroz, y el contenido de grasa es menor que en el maíz y avena pero superior al de la cebada, arroz y trigo. La cantidad de cenizas es inferior a la de cualquier grano cuyas glumas son difícilmente equiparables. Después del maíz, el grano de sorgo es el que tiene mayor valor energético total (Dogget, 1970; Wall y Ross, 1970).

Según las variedades de sorgo, y, en la misma variedad, según los cuidados en el cultivo, la proporción de los distintos componentes puede variar.

El análisis proximal y la composición de aminoácidos del grano de sorgo se presentan en los Cuadros 5 y 6.

El sorgo contiene proteínas que presentan distintas propiedades físicas, actividad biológica y valor nutritivo, en función de los aminoácidos de que están formadas, de las propiedades de éstos y de la manera en que están enlazados en la molécula.

Cuadro 5. Composición del grano de sorgo comparativamente con la de maíz (Ibar, 1984).

| Componentes                  | Sorgo | Maíz  |
|------------------------------|-------|-------|
| Proteínas                    | 12.7  | 9.8   |
| Extracto etéreo (grasa)      | 3.7   | 4.6   |
| Fibra celulósica             | 2.8   | 2.3   |
| Cenizas                      | 2.3   | 1.3   |
| Hidratos de carbono          | 78.6  | 82.0  |
| Energía disponible (Kcal/Kg) | 3 450 | 3 600 |

Cuadro 6. Comparación de los aminoácidos del sorgo con el Patrón de FAO y con el Patrón de la Academia Nacional de Ciencias, U.S.A. (Wall, J.S., 1970).

| Aminoácidos            | Sorgos (g/100g de Proteína) |            | FAO*                | ANC** |
|------------------------|-----------------------------|------------|---------------------|-------|
|                        | GSH-1                       | 160 Cernum | g/100 g de Proteína |       |
| Histidina              | 2.0                         | 2.3        | -                   | 1.7   |
| Lisina                 | 1.7                         | 3.1        | 4.3                 | 5.1   |
| Treonina               | 3.2                         | 3.6        | 3.3                 | 3.5   |
| Valina                 | 5.4                         | 4.2        | 2.8                 | 4.8   |
| Metionina              | 0.83                        | 1.1        | 1.7                 | -     |
| Isoleucina             | 3.7                         | 3.8        | 4.3                 | 4.2   |
| Leucina                | 13.2                        | 12.7       | 4.9                 | 7.0   |
| Fenilalanina           | 5.1                         | 4.6        | 2.9                 | -     |
| Triptofano             | -                           | -          | 1.1                 | 1.1   |
| Aminoácidos sulfurados | -                           | -          | -                   | 2.6   |
| Aminoácidos aromáticos | -                           | -          | -                   | 7.3   |
| Proteínas              | 16.5                        | 17.7       | -                   | -     |

\* Patrón de FAO/WHO (1965).

\*\* Patrón de la Academia Nacional de Ciencias, U.S.A. (1974).

Osborne (1924) clasificó a las proteínas por su solubilidad en: Albúminas, solubles en agua; globulinas, solubles en soluciones salinas diluidas; prolaminas, solubles en soluciones de alcohol etílico y glutelinas, solubles en álcalis diluidos.

En el sorgo, las prolaminas (Kafirina) son la fracción predominante. Se localizan en el endospermo y tienen bajo valor nutritivo debido a que son deficientes en varios aminoácidos esenciales como lisina, arginina, histidina, metionina y triptofano.

Las glutelinas son la segunda fracción proteica en importancia. Los niveles de lisina, treonina, arginina y metionina son más altos en las glutelinas que en la kafirina. Las albúminas y globulinas son las fracciones que se encuentran en menor proporción (Virupaksha y Sastry, 1968).

En general, el sorgo es pobre en los aminoácidos esenciales lisina, treonina, metionina y triptofano.

Al haber alcanzado el sorgo, en los últimos años, gran importancia en la producción nacional, obliga a estudiar su valor nutritivo, comparativamente con otros cereales, principalmente con el maíz al que con frecuencia sustituye por su gran facilidad de cultivo.

La calidad nutritiva de las diferentes variedades de sorgo que actualmente se consumen es pobre en comparación con otros cereales, debido a que el grano de sorgo presenta astringencia y color anormal, causado por los taninos (polifenoles) haciéndolo inapropiado para ser utilizado en la alimentación humana.

Los taninos condensados (catequinas y leucoantocianidinas) ejercen un efecto adverso en el valor nutritivo del grano por la facilidad que tienen de formar complejos con las proteínas haciéndolas inaprovechables (Alarcón, 1985).

Un estudio realizado por Chavan y col. en 1979, demuestra

que la extracción de taninos en solución alcalina 0.05M (NaOH, KOH o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a temperatura de ebullición durante 20 min., mejora la digestibilidad in vitro de las proteínas de granos con elevado contenido de taninos.

De las investigaciones realizadas para utilizar este cereal como alimento potencial para la población, destacan las que emplean al sorgo como un sustituto parcial o incluso total del maíz en la elaboración de tortillas (Khan y col., 1980; Durán, 1984; Nieto, 1984). Uno de los problemas asociados con la aceptación sensorial de las tortillas "extendidas" con sorgo integral es que, con proporciones mayores de 15% de sustitución, el color y características reológicas (viscosidad aparente) de la masa no son comparables con las de maíz (Alarcón y col., 1979; 1985). Existen otros estudios realizados con sorgo decorticado o perlado que plantean el uso de proporciones hasta de 40:60 de sorgo perlado:maíz, en la producción tradicional de masas y harinas para tortillas, sin que aparentemente se modifiquen las características molineras y sensoriales de los productos (Laso y Núñez, 1977; 1980; 1982; Nieto y col., 1986).

En países en vías de desarrollo donde el maíz es insuficiente y existe disponibilidad de sorgo, el uso del sorgo micronizado en la preparación de tortillas podría ser una ventaja. Se han estudiado los efectos de la sustitución del maíz por sorgo perlado micronizado en una harina comercial para tortillas. El nivel de sustitución que puede usarse es del 20% sin pérdida excesiva de color y mejorando sabor y textura. Además, la textura de la masa se mejora debido a una mayor absorción de agua por el sorgo (Johnson y col., 1980). Sin embargo, la cocción no es homogénea y las características reológicas de la masa no son iguales a las de las masas de harinas nixtamalizadas.

### 3.3 METODOS DE COCCION DEL MAIZ

#### 3.3.1 PROCESO TRADICIONAL

A pesar de que la tortilla es el alimento básico en México y otros países latinoamericanos, la tecnología tradicional aplicada a su elaboración es totalmente empírica y no ha sufrido cambios apreciables.

A continuación se describe el proceso tradicional (Sahagún, 1529-1590):

Para elaborar las tortillas, se pone a hervir en una olla una lechada de cal, con una concentración aproximada de 1.5% (peso de cal a volumen de agua), cuando esta solución se encuentra hirviendo, se adiciona el maíz en proporción de una parte de maíz y dos partes de agua. El tiempo de tratamiento depende de las características físicas del maíz empleado, el cual puede variar de 30 a 50 minutos.

Después de este tiempo, la olla se retira del fuego y su contenido se deja enfriar y reposar por espacio de 6 a 12 h, después de las cuales se elimina el líquido sobrenadante (nejayote, nextli: cenizas de cal; áyoh: caldo y atl: agua) y se lava el nixtamal con agua con el fin de eliminar el exceso de cal y desprender el pericarpio del grano.

Ya lavado, se muele y con la masa resultante se hacen bolitas que se aplastan entre las manos para elaborar las tortillas.

#### 3.3.2 MOLINOS DE NIXTAMAL

La molienda del nixtamal se puede realizar por dos métodos; manual y mecánico. El proceso manual se emplea sólo en el medio rural.

El crecimiento de la población urbana ha provocado que la transformación del maíz en masa de nixtamal y en tortilla dejara

de ser manual y se mecanizara de algún modo. Así, se han ido introduciendo desgranadoras, molinos de nixtamal y tortilladoras, que actualmente se usan en todo el país.

En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo de la nixtamalización en molinos y fábricas de harina.

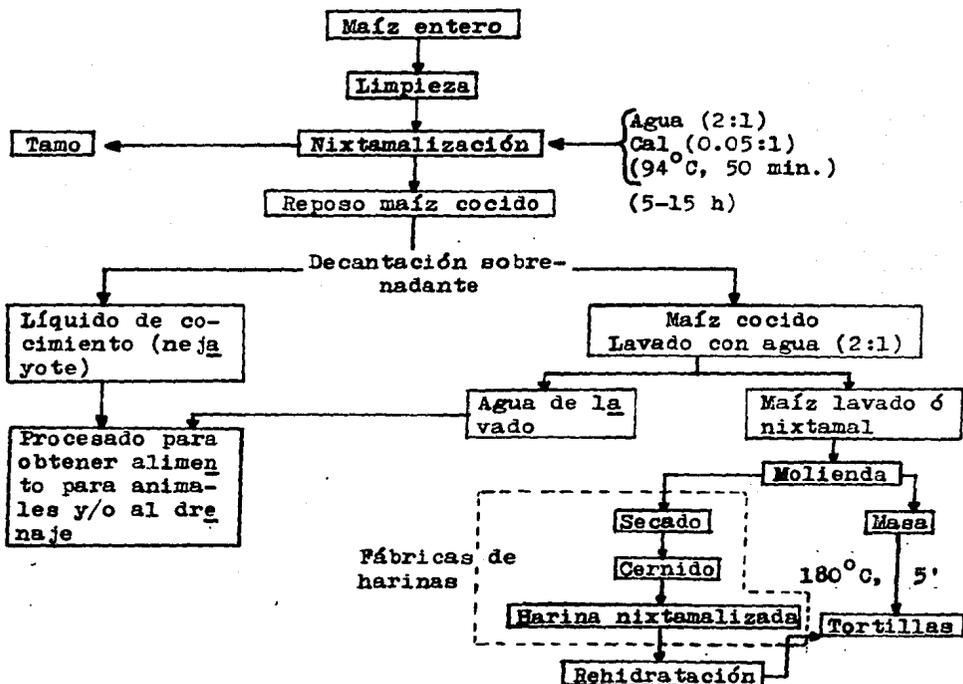


FIGURA 1. Proceso de nixtamalización en molinos y fábricas de harina.

Las ventajas y desventajas desde el punto de vista de proceso, en los molinos de nixtamal son las siguientes:

(a) Ventajas:

- Disminución de la solubilidad de la zeína lo cual mejora el valor biológico de las proteínas solubles del maíz. Además, el tratamiento térmico-alcalino incrementa la velocidad de liberación de algunos aminoácidos esenciales (Bressani y Scrimshaw, 1958).
- La niacina, que se encuentra formando un complejo llamado niacina el cual está constituido, además de ácido nicotínico, de una amina aromática, varios azúcares, y algunos ésteres del fenol, se libera de dicho compuesto por hidrólisis alcalina haciéndola biológicamente disponible (Kodicek, 1960; 1962). También, con la disminución de leucina se reduce la desproporción isoleucina/leucina, lo cual es muy ventajoso ya que se favorece la conversión de triptofano a niacina (Balavady y col., 1967; Gopalan, 1970).
- El contenido de calcio en el grano nixtamalizado aumenta aproximadamente 4.5 veces con respecto al grano no tratado (de 140 aumenta a 640 mg/Kg).
- Durante la cocción y reposo del maíz tienen lugar cambios físicos y químicos en el grano. Los cambios físicos facilitan la molienda ya que los granos suaves permiten que los molinos consuman menos energía. Los cambios químicos; tales como la gelatinización parcial de almidones del endospermo y la desnaturalización de las proteínas, resultan en una masa moldeable y fácil de manejar.

(b) Desventajas:

- En este proceso se pierde desde 3.5 hasta 20% en peso (en base seca) del maíz, dependiendo, tanto de la o las variedades em-

pleadas como de las caractefisticas de proceso.

- Hay otros cambios durante la nixtamalización como es el aumento de la solubilidad del nitrógeno, con lo que hay una disminución del contenido de proteínas. Asimismo, disminuyen las grasas debido a la acción que tiene el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sobre los glicéridos mediante una reacción de hidrólisis alcalina, dando finalmente ésteres (Guerrero y Lugo, 1980).
- El proceso requiere un tiempo de 20 h y un consumo de hasta 6:1 partes de agua, por lo que genera efluentes altamente contaminantes.

### 3.3.3 HARINA DE MAIZ NIXTAMALIZADO

La fabricación de harina de maíz nixtamalizado surgió como respuesta al problema de conservación de la masa de nixtamal que en unas cuantas horas ya no es adecuada para el consumo humano y como producto del que pueden adquirirse los volúmenes que se deseen y prepararse cada vez sólo en la cantidad requerida, conservándose el resto en buen estado casi indefinidamente, aún en los climas más extremos.

En la Figura 2 se muestra el proceso de obtención de harina de nixtamal en las fábricas más modernas.

Ventajas y desventajas del proceso:

#### (a) Ventajas:

- Existe un cocimiento uniforme.
- La vida de anaquel del producto es mayor que la de la masa.
- El proceso da muy buenas posibilidades de enriquecimiento proteico o nutritivo o de extensión con otros cereales.

#### (b) Desventajas:

- Aumenta el consumo de energía eléctrica y calorífica.
- Generación de efluentes contaminantes.
- Las características reológicas de la masa rehidratada y de las

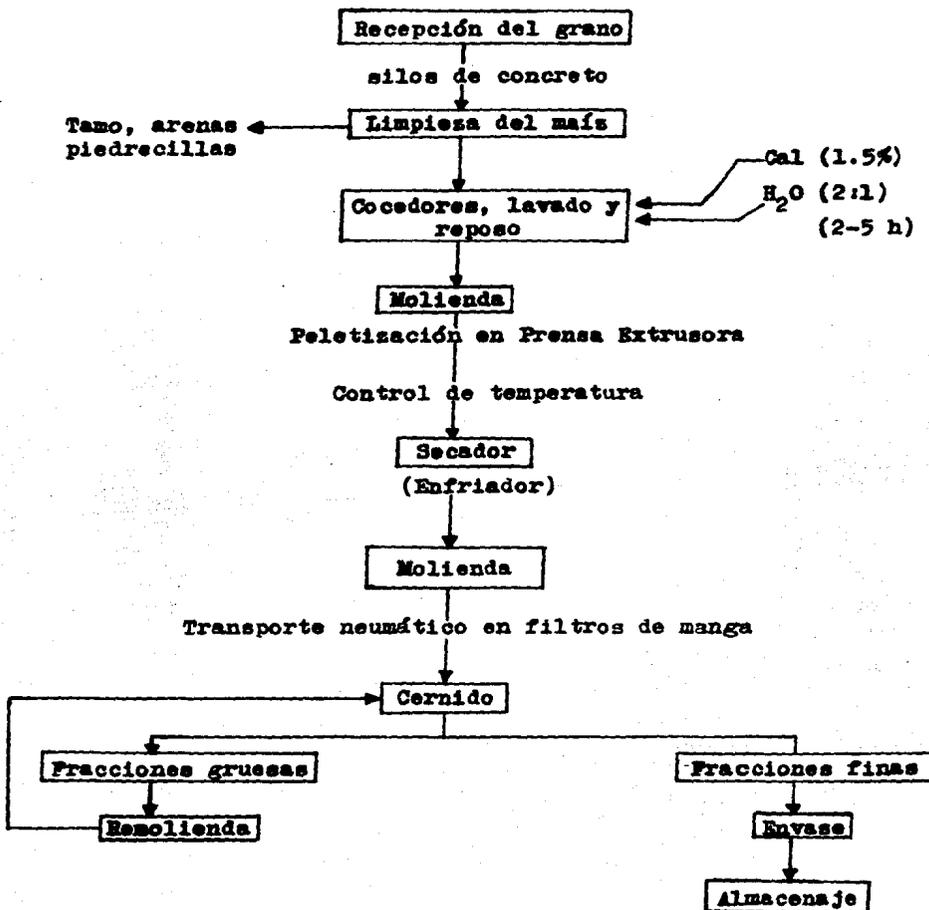


FIGURA 2. Diagrama de flujo de Planta Productora de Harina de Nixtamal (Estrada, Herrero y Lara, 1986).

tortillas resultantes no son tan aceptables como los de la masa fresca.

### 3.4 METODOS ALTERNATIVOS DE COCCION

#### 3.4.1 EXTRUSION

La extrusión es una operación definida como el acto de texturizar o cocer un material al forzarlo a través de una boquilla o dado por medio de un tornillo transportador.

El proceso de extrusión puede ser controlado por medio de diferentes condiciones de operación; es un buen convertidor de energía eléctrica en energía térmica e indirectamente actúa como proceso de secado (Smith, 1976).

Los extrusores tienen las propiedades de mezclar, reducir humedad por medio del calentamiento, gelatinizar almidones, controlar inhibidores de proteínas lábiles al calor, dar forma y expander las materias primas procesadas a través de ellos.

En la Fig. 3 se muestran las partes de que consta un extrusor simple. El material es alimentado a través de la tolva de alimentación al canal del tornillo sinfín. El tornillo sinfín gira dentro de un barril. Un motor mueve al tornillo y un dado se encuentra en la última parte del extrusor. El barril es el que proporciona las superficies para impartir los esfuerzos cortantes al material, también sirve como superficie de transferencias para enfriar o para calentar.

El tornillo dependiendo de su característica funcional se divide en tres secciones (Fig. 4):

- Zona de alimentación
- Zona de transición
- Zona de extrusión

La Figura 5 esquematiza el proceso de extrusión.

FIGURA 3. Elementos de un extrusor (Bernhardt, 1974).

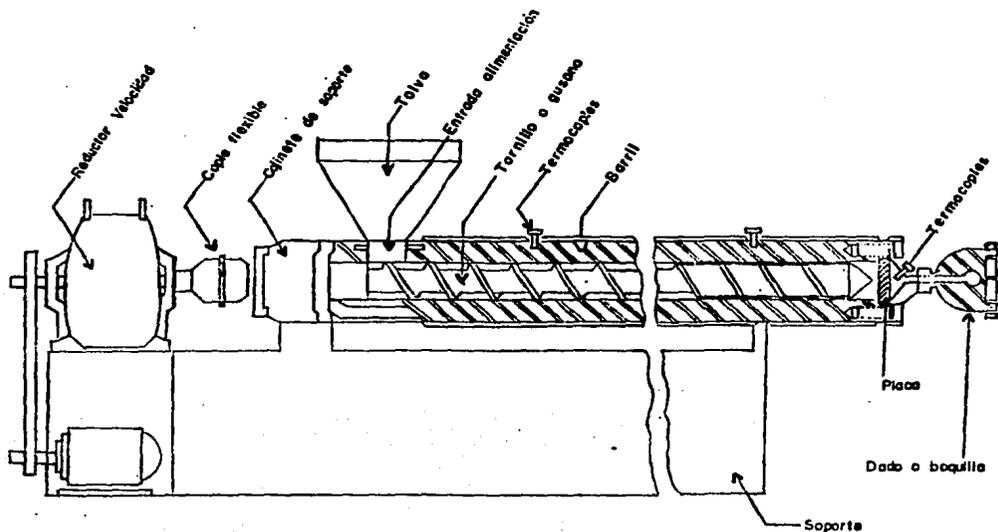
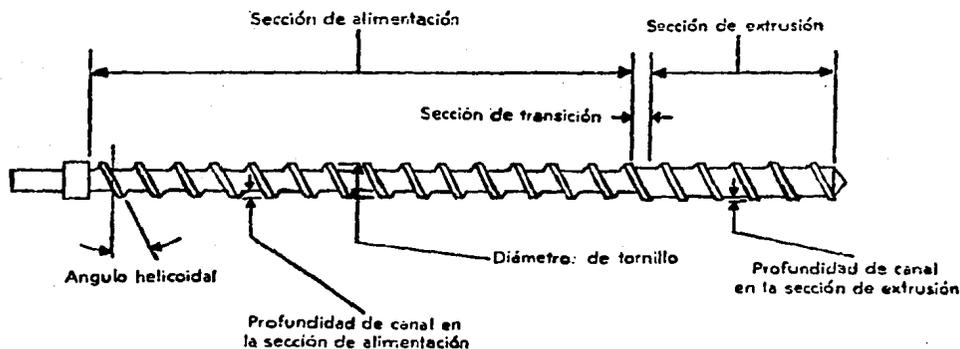


FIGURA 4. Tornillo o gusano de un extrusor (Bernhardt, 1974).



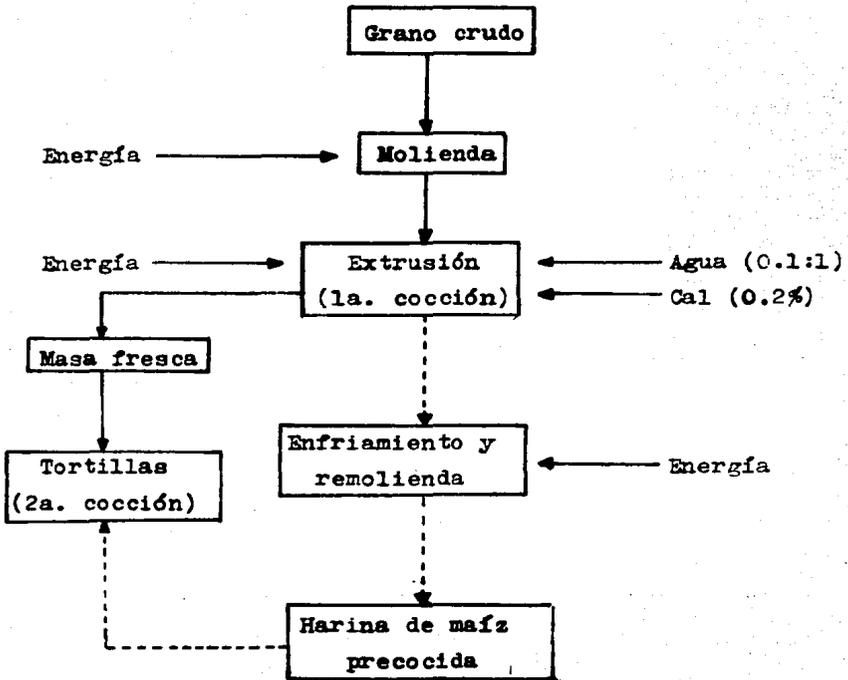


FIGURA 5. Diagrama de flujo del proceso de extrusión para el maíz (Bazúa y col., 1976; Bazúa y Guerra, 1980).

El propósito de aplicación del proceso de extrusión en el maíz, es usar esta operación para cocer el maíz y producir una harina que tenga una vida de anaquel de 6 meses a un año y que además presente las mismas propiedades al ser rehidratada que la masa obtenida por el proceso tradicional de cocción alcalina usado en México y Centroamérica.

Los experimentos realizados (Bazúa y col., 1979; Guerra y col., 1983) ofrecen amplias perspectivas para la producción de harinas precocidas de cereales que pueden ser utilizadas en la elaboración de productos tradicionales mexicanos (tortillas, tamales, etc.).

Las ventajas que presenta este proceso son:

- Brevedad del período de cocción lo que significa una menor destrucción del contenido de nutrientes que cualquier otro método, además de un ahorro considerable en el tiempo de proceso.
  - Puede obtenerse directamente masa para enviarse a tortillado ras ó harina precocida que puede almacenarse como la harina de maíz nixtamalizado.
  - Productos libres de microorganismos patógenos.
  - Economía de energéticos, reducción en el consumo de cal y agua y ausencia de aguas de desecho.
  - Pueden cocerse ingredientes individuales o mezclas. Esto implica que es posible enriquecer o extender los productos.
  - Los productos pueden tener diferentes densidades y texturas.
  - Mínimos requerimientos de mano de obra y área de trabajo.
- Dentro de las desventajas se encuentran:
- Los extrusores procesan solamente materiales granulares por lo que se requiere el paso de la molienda, previo a la coc-ción-extrusión.

- Introducción de una nueva tecnología, lo cual no se logra fácilmente sobre todo en ciertos estratos sociales.

### 3.4.2 COCCION EN TAMBORES

Otro de los procesos alternativos es el de la cocción del maíz en tambores, para obtener una harina de maíz instantánea pa ra la elaboración de tortillas (Molina y col., 1977).

El proceso se puede observar en el diagrama presentado en la Fig. 6. La harina obtenida mostró características fisicoquímicas y organolépticas similares a las de las muestras preparadas como referencia. Sin embargo, el proceso de cocción en el tambor es muy susceptible a sufrir sobrecalentamientos que afectan la calidad de los productos.

Existe una diferencia en costos entre este proceso y el tradicional, favoreciendo la cocción en tambores la cual es atribuida a un ahorro de energía obtenido con el nuevo método. También aquí la harina obtenida puede suplementarse o extenderse con otros cereales.

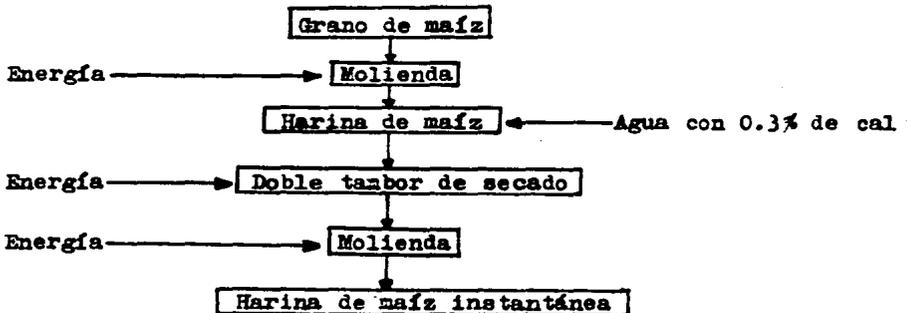


FIGURA 6. Diagrama del proceso de cocción en tambores.

### 3.4.3 MICRONIZACION

La micronización es un proceso que involucra el uso de radiación infrarroja, produciendo un rápido calentamiento interno del grano provocando que haya un cocimiento originado en el interior del producto. Las semillas calentadas posteriormente se trituran mediante rodillos de acero corrugado.

El empleo de la micronización para producir harina preparada para tortillas, es un proceso más rápido y económico que el tradicional debido a que se evitan tanto el largo período de cocimiento y el tiempo de reposo, como el costo de la operación de secado del método actual de producción.

El efecto de sustituir sorgo perlado micronizado en una harina comercial para la elaboración de tortillas fue estudiado por Johnson y col. en 1980.

Una desventaja del proceso de micronización de sorgo perlado es la ausencia de un cocimiento homogéneo del grano, lo cual se debe a la heterogeneidad del tamaño de partícula del sorgo. Sobre esto, el proceso de extrusión tiene la ventaja de presentar un cocimiento homogéneo puesto que previo a la extrusión el grano se muele y mezcla perfectamente. En el extrusor el calor para la cocción puede suministrarse a través de la pared del cilindro o barril ó directamente de las fuerzas de fricción entre el material alimenticio y el equipo.

### 3.5 PROCESO ALTERNATIVO SELECCIONADO

Analizando las ventajas y desventajas de los procesos propuestos como alternativas al tradicional, se eligió al de extrusión por la versatilidad del método y por las ventajas que este plantea, las cuales demuestran la mayor calidad del producto,

así como la economía del proceso, con tiempos realmente cortos de cocción y características reológicas de las masas producidas directamente o de harinas rehidratadas similares a las de las masas tradicionales, factores que determinan su factibilidad a nivel industrial.

Uno de los aspectos importantes para la aplicación de este proceso, es el de construir un extrusor con materiales existentes en nuestro país, construyendo dos unidades alternativas, una manual o accionada con un motor de combustión interna para ser usada en las zonas rurales y otra de mayores dimensiones que trabaje con un motor eléctrico para las zonas urbanas. Además, estas unidades podrían contar con una sección de molienda, otra de alimentación y otra de cocción. En la sección de alimentación se introduciría una solución acuosa de cal para que la cocción fuera alcalina y el producto (masa) pudiera ser usado inmediatamente u obtener un extrudido seco y molido otra vez para almacenarse, en forma de harina precocida, en bolsas de polietileno reusables de buena calidad.

#### IV. MATERIALES Y METODOS

Los granos utilizados en el desarrollo experimental de este trabajo fueron: maíz blanco cristalino variedad Zoapila, donado por el INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Chapingo, Edo. de México) y cultivado en sus campos experimentales dentro del ciclo agrícola correspondiente (abril a octubre de 1983); sorgo colorido variedad bicolor, de origen desconocido ya que se adquirió en el mercado; y sorgo perlado que es el sorgo colorido al cual se le ha eliminado la testa y pericarpio mediante el proceso Kisel-Ha (Laso y Núñez, 1982). Se estudiaron los dos lotes de sorgo para comprobar el posible efecto de los taninos en el color y valor nutritivo de las harinas obtenidas al final de cada proceso (nixtamalización y extrusión).

##### 4.1 ANALISIS FISICO DE LOS GRANOS

Para la caracterización de los granos se homogeneizó cada variedad mezclando bien todo el lote (30 Kg de maíz, 20 Kg de sorgo colorido y 15 Kg de sorgo perlado) del cual se extrajo una muestra representativa para luego determinar % de granos dañados, rotos y extraños, % de impurezas, peso hectolítrico, peso del grano y densidad.

En el caso del sorgo perlado (Kisel-Ha), se tenían 3 lotes diferentes, pero únicamente se empleó uno de ellos (sorgo perlado entero), pues los dos lotes restantes correspondían a las fracciones:  $(-\frac{1}{8} + \frac{3}{32})$  y  $(-\frac{3}{32} + 20)$ , obtenidas durante el perlado del sorgo. Estos números representan el tamaño de las mallas en pulgadas.

##### 4.1.1 % GRANOS DAÑADOS, ROTOS O EXTRAÑOS

Como los granos estaban contenidos en un saco se muestrearon

las partes inferior, central y superior del lote; en total 30 muestras, de las cuales se extrajeron 100 granos para cada determinación.

#### 4.1.2 $\%$ IMPUREZAS

Se pesaron muestras de 100 gramos retirándoles 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.

#### 4.1.3 PESO HECTOLITRICO

Esta determinación consistió en aforar una probeta de 1 litro con el cereal, posteriormente el grano de la probeta se pesó, expresando el resultado final en Kg/100 litros.

#### 4.1.4 PESO DEL GRANO

Esta determinación consistió en contar 1000 granos del cereal y pesarlos. El resultado se expresa como peso/1000 granos.

#### 4.1.5 DENSIDAD

La determinación consistió en aforar una probeta de 100 ml con el cereal después de lo cual, el cereal de la probeta se pesó, colocándolo nuevamente en la probeta. Enseguida, 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 petróleo), para llenar los espacios vacíos. El 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

$$D = \frac{m}{v}$$

donde D = Densidad

m = Peso del cereal (g)

v = Aforo total de la probeta - Volumen gastado de la bureta

## 4.2 ANALISIS QUIMICO DE LOS GRANOS

### 4.2.1 ANALISIS PROXIMAL

Como los alimentos se manejan en grandes cantidades, requieren para su análisis métodos sencillos y baratos. Generalmente se emplea una marcha analítica que cumple con esos requisitos y que logra cuantificar de manera aproximada los principales grupos de nutrientes que componen un alimento. Estas determinaciones son humedad, cenizas, proteína cruda, grasa cruda y fibra cruda (AOAC, 1980).

Los procedimientos del análisis químico proximal se describen con detalle en el Apéndice A.

### 4.2.2 DETERMINACION DE TANINOS

Cuantificación de taninos por el método Vainillina-HCl (Price y Butler, 1978). La Figura 9 presenta la curva estándar de catequina.

### 4.2.3 DIGESTIBILIDAD "IN VITRO"

Se determinó usando pepsina y HCl al 10% (Akesson y Stahmann, 1964) midiendo el contenido de proteína por macrokjeldahl (AOAC, 1980).

## 4.3 PROCESOS DE COCCION

Después de que los granos se homogeneizaron y se sometieron en forma manual a operaciones de selección y limpieza, se procedió a efectuar la nixtamalización y la extrusión de los siguientes lotes de 5 Kg cada uno: Maíz 100%, Sorgo colorido 100% (sorgo integral), Sorgo perlado 100%, Sorgo colorido 15%-Maíz 85%, Sorgo perlado 15%-Maíz 85%, Sorgo colorido 40%-Maíz 60% y Sorgo perlado 40%-Maíz 60%.

#### 4.3.1 NIXTAMALIZACION (PROCESO MODIFICADO)

Las condiciones de procesamiento (concentración de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , temperatura y tiempo de nixtamalización) varían en cada lote con objeto de que las tortillas producidas sean organolépticamente aceptables, tomando como parámetros su flexibilidad, color y ausencia de granulosidad. Fue necesario hacer una modificación al proceso tradicional principalmente porque el grano de sorgo perlado tiene mayor superficie de contacto.

Elaboración de harinas. Se hicieron siete lotes de muestras crudas: 1) Maíz 100%, 2) Sorgo colorido 100%, 3) Sorgo perlado 100% formado por tres fracciones: 50% ( $+\frac{1}{8}$ ), 35% ( $-\frac{1}{8} + \frac{3}{32}$ ) y 15% ( $-\frac{3}{32} + 20$ ), los números entre paréntesis indican el tamaño de las mallas en pulgadas, 4) Sorgo colorido 15%-Maíz 85%, 5) Sorgo perlado 15%-Maíz 85%, 6) Sorgo colorido 40%-Maíz 60% y 7) Sorgo perlado 40%-Maíz 60%. Cada lote se procesó como se indica en la Fig. 7. Para el caso específico de la mezcla 85-15 maíz-sorgo se siguieron los mismos pasos que aparecen para la mezcla 60-40, con las mismas proporciones de insumos. Al finalizar la nixtamalización las muestras se sometieron a un proceso de secado empleando un secador de charolas con sistema de vacío a una temperatura de  $60-70^\circ\text{C}$  y 7-14 lb/pulg<sup>2</sup> de presión por espacio de 5-6 h. En un molino CeCoCo tipo SC-ES se molieron los granos, obteniéndose de esta forma sus harinas tamizadas en mallas 25 y 60, las más apropiadas según la especificación para harinas nixtamalizadas, la cual indica que la harina debe pasar malla 25 y quedar retenido un 75% en malla 60.

#### 4.3.2 EXTRUSION

Se trabajó en un extrusor con una capacidad de aproximadamente 50 Kg/h. Este aparato fue diseñado y construido por CIATECH

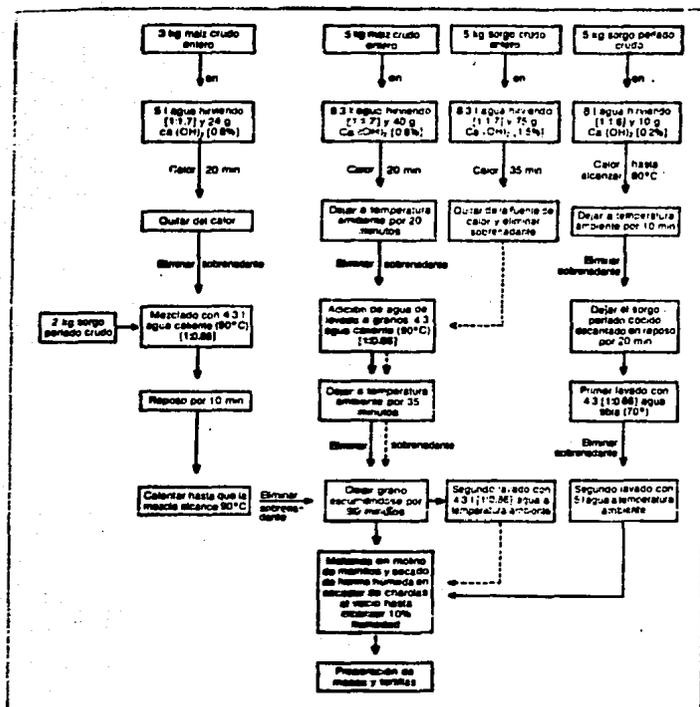


FIGURA 7. Procesos térmico-alcálinos para obtener los productos de maíz, sorgo colado, sorgo perlado y mezclas de maíz y sorgos perlado e integral (Nieto y col., 1986).

(Centro de Investigación y Asistencia Tecnológica del Estado de Chihuahua). La tecnología de diseño de estos extrusores de bajo costo ha sido asimilada a partir del desarrollo de los extrusores Brady y su diseminación a través de la Universidad de Colorado en EE.UU. de América (Harper, 1979). Se trata de un equipo poco sofisticado y, por consiguiente, carece de termopares en las diferentes zonas de calentamiento. Sólo tiene un indicador de temperatura a la salida (temperatura de extrusión) y consta de un tornillo alimentador y un tornillo de extrusión de canal profundo y vuelta constante. Funciona con un motor que proporciona 1 500 rpm. Una descripción más detallada desde el punto de vista de ingeniería es presentada por Acosta y col. (1982).

En la Fig. 8 se esquematizan los pasos seguidos en el proceso de extrusión.

Las condiciones de las harinas en el proceso de extrusión fueron las siguientes:

| % HUMEDAD    |                   |                     |
|--------------|-------------------|---------------------|
| HARINAS      | ANTES DE EXTRUDIR | DESPUES DE EXTRUDIR |
| M 100%       | 18.0              | 16.0                |
| SC 100%      | 19.5              | 16.2                |
| SP 100%      | 18.0              | 15.5                |
| SC 15%-M 85% | 18.0              | 15.8                |
| SP 15%-M 85% | 18.0              | 15.5                |
| SC 40%-M 60% | 19.5              | 16.5                |
| SP 40%-M 60% | 19.0              | 16.0                |

M = maíz

SC = sorgo colorido

SP = sorgo perlado

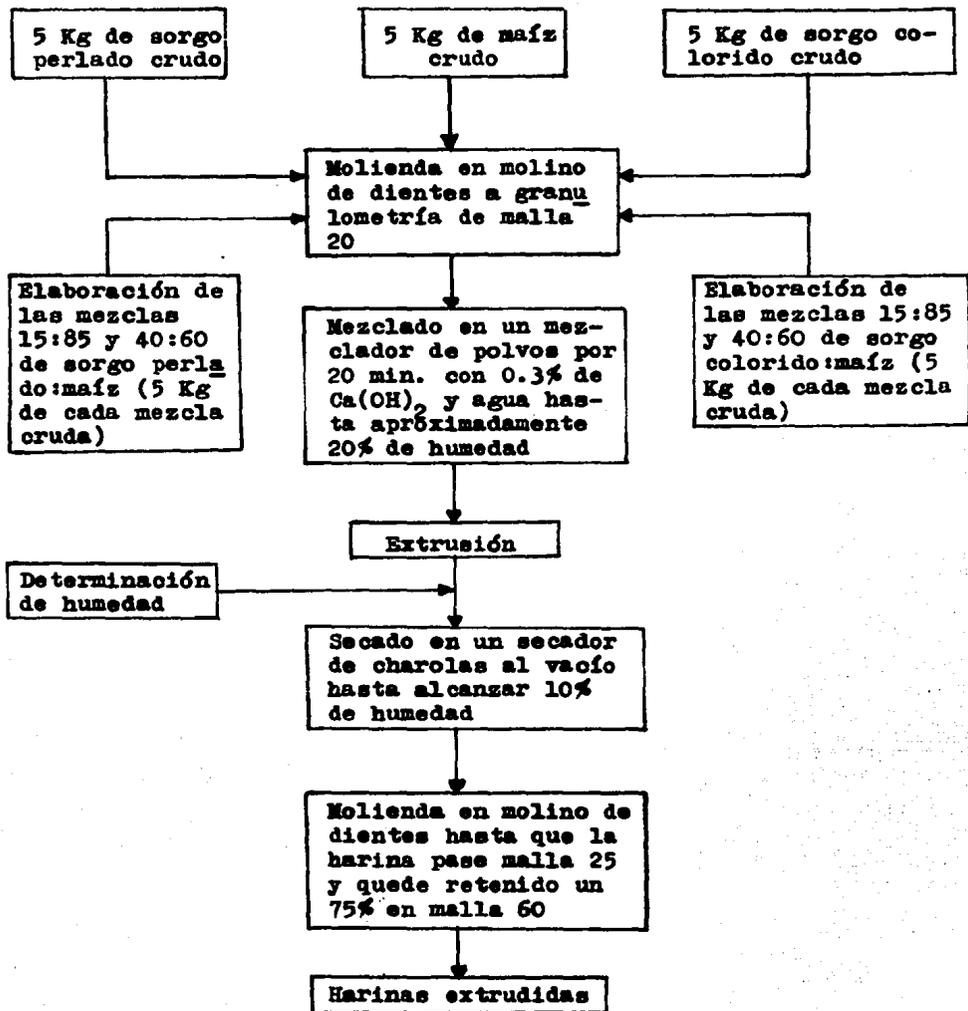


FIGURA 8. Diagrama de flujo del proceso de extrusión.

| HARINAS    | TIEMPO DE RESIDENCIA (seg) | TEMP. DE ENTRADA (°C) | TEMP. DE SALIDA (°C) | TIEMPO DE EXTRUSION (min) | FLUJO DE ALIMENTACION (Kg/h) |
|------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------|
| M 100%     | 10                         | 155                   | 155                  | 3                         | 97.26                        |
| SC 100%    | 13                         | 152                   | 152                  | 2.83                      | 114.63                       |
| SP 100%    | 14                         | 153                   | 153                  | 2.83                      | 108.90                       |
| SC 15-M 85 | 14                         | 155                   | 152                  | 2.9                       | 102.55                       |
| SP 15-M 85 | 15                         | 153                   | 153                  | 2.43                      | 129.00                       |
| SC 40-M 60 | 12                         | 152                   | 153                  | 3                         | 109.16                       |
| SP 40-M 60 | 14                         | 154                   | 154                  | 3                         | 97.96                        |

M = maíz

SC = sorgo colorido

SP = sorgo perlado

#### 4.4 ANALISIS QUIMICO DE HARINAS NIXTAMALIZADAS Y HARINAS EXTRUDIDAS

##### 4.4.1 ANALISIS PROXIMAL

A las harinas obtenidas se les efectuó el análisis químico proximal para conocer el efecto de los procesos en los componentes principales de los granos en estudio. Se determinó contenido de humedad, cenizas, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y carbohidratos asimilables (AOAC, 1980).

##### 4.4.2 DETERMINACION DE TANINOS

La cuantificación de taninos se realizó por el método modificado Vainillina-HCl (Price y Butler, 1978). La Fig. 9 presenta la curva estándar de catequina.

##### 4.4.3 DIGESTIBILIDAD "IN VITRO"

Se evaluó por el método de Akbson y Stahman, 1964. El contenido de proteína se determinó por macrokjeldahl (AOAC, 1980).

##### 4.4.4 DETERMINACION DE CALCIO

El calcio se estimó por una titulación permanganométrica (AOAC, 1980).

Las técnicas de los métodos anteriormente mencionados se localizan en el Apéndice A.

#### 4.5 PRUEBAS BIOLÓGICAS

La evaluación general de la proteína de un alimento comprende la realización de pruebas biológicas, primero en animales experimentales y, cuando es necesario, subsecuentemente en humanos.

La mayoría de los métodos comunes de bioensayo para determinar la calidad de una proteína, se basan en mediciones directas o indirectas de la retención de nitrógeno en el organismo, que a su vez se pueden agrupar en dos categorías:

- 1) Métodos de crecimiento como son: Relación de Eficiencia Proteica (REP), Relación Neta de Proteína (RNP) y Valor Proteico Relativo (VPR).
- 2) Métodos de balance de nitrógeno: Digestibilidad Aparente (DA), Digestibilidad Verdadera (DV), Utilización Neta de Proteína-Aparente (UNP-A), Utilización Neta de Proteína (UNP) y Valor Biológico (VB).

Los ensayos más ampliamente usados han sido el valor biológico (VB), utilización neta de proteína (UNP) y relación de eficiencia proteica (REP). En general, todos los métodos biológicos empleados para la valoración de las proteínas miden su calidad bajo condiciones experimentales controladas, en donde la proteína de la dieta es el único factor limitante en la respuesta escogida para el estudio en cuestión.

Los ensayos biológicos efectuados en el presente estudio fueron: REP y DA.

La REP ha sido severamente criticada como medidor de la calidad de una proteína, debido a que la estimación del valor nutritivo obtenido con este método depende de la cantidad de ali-

mento consumido, del contenido de proteína de la dieta, y del valor nutritivo de la proteína (Samond y Hegsted, 1976). El método presenta el inconveniente de que las proteínas que no promueven crecimiento no pueden ser evaluadas por este mismo.

Los factores que afectan al método son: la edad inicial del animal, peso, raza y sexo, así como el nivel de proteína de la dieta y tiempo de experimentación.

La digestibilidad aparente (DA) de la proteína cruda expresa la proteína cruda ingerida menos la proteína cruda excretada como un porcentaje de la proteína ingerida. Esta expresión difiere de la digestibilidad verdadera de la proteína cruda en que no toma en cuenta la excreción de la proteína endógena por el tracto digestivo del animal (Hurrell y Carpenter, 1981).

La digestibilidad aparente es un método indirecto basado en la medición de las relaciones entre el ingrediente bajo prueba y una sustancia indigerible adicionada a la dieta. Así como en la REP, los valores de DA varían con el alimento ingerido y con el nivel de proteína.

#### 4.5.1 RELACION DE EFICIENCIA PROTEICA (REP)

Específicamente, el ensayo biológico REP mide el peso corporal ganado por gramo de proteína consumida, y se determinó según recomendación de Osborne, Mendel y Ferry (1919).

##### Procedimiento

Se incluyeron fuentes de proteína diferentes en las dietas y se experimentó con grupos de 8 animales cada uno. El estudio duró 28 días. La diferencia de pesos entre lotes no fue mayor de 5 g, se utilizó el método de culebra para la selección de los pesos de los animales en cada lote. Posteriormente, la colocación de los animales por dieta se hizo al azar, procurando eliminar la variable condiciones ambientales en el estante de jaulas. El

alimento consumido se pesó cada tercer día y los animales una vez por semana.

### Animales

Para este estudio se utilizaron ratas Wistar, machos recién destetados de 21-23 días de nacidos, de la colonia del Bioterio de la Facultad de Química, UNAM, cuyo peso oscilaba entre 45±5 g.

Se estudiaron 18 dietas: 7 dietas que incluyen harinas nixtamalizadas y 7 dietas que incluyen harinas extrudidas, además de 2 dietas de referencia (una con caseína 10% y otra con caseína 8%) por cada tratamiento térmico-alcalino. Los animales se colocaron en jaulas individuales y se les proporcionó agua y alimento ad libitum.

Las condiciones ambientales en el cuarto en el que se trabajó fueron: temperatura 16-24°C, humedad relativa 45-65%, iluminación 12 h y oscuridad 12 h.

### Dietas

Las dietas se prepararon con base en los requerimientos necesarios para obtener una dieta isoproteica e isocalórica (Cuadro 7) que proporcione los nutrientes y las cantidades apropiadas de éstos para el buen desarrollo y funcionamiento del organismo del animal.

En la mayoría de los trabajos que reportan REP se plantea el uso de un nivel de proteína del 10% de acuerdo a Osborne, Mendel y Perry (1919). Sin embargo, hay trabajos realizados en México sobre enriquecimiento de la harina de maíz que reportan valores de REP a niveles de proteína de 7.2% (Cravioto y col., 1950), 8.2% (Cravioto y col., 1965) y 8.0% (Hernández y col., 1981) entre otros. En este caso, se trabajó con un porcentaje de proteína alrededor del 8% por dos razones: 1) El contenido de proteína cruda en el maíz, sorgos (colorido y perlado) y mezclas

maíz-sorgos tanto nixtamalizados como extrudidos es inferior a 10%, y 2) No se hizo un ajuste de este valor precisamente para no involucrar una fuente de proteína ajena a lo que se pretende evaluar. Además se incluyeron dos controles de caseína uno con 10% de proteína y otro con 8% para observar la magnitud de variación entre ambos lotes.

Cuadro 7. Composición de las dietas usadas en este estudio.

| Materiales                       | Porcentajes |
|----------------------------------|-------------|
| Mezcla de vitaminas <sup>1</sup> | 1%          |
| Mezcla de minerales <sup>2</sup> | 4%          |
| Aceite de maíz                   | 5%          |
| Fibra cruda (celulosa)           | 2%          |
| Harinas a estudiar <sup>3</sup>  | 88%         |

<sup>1</sup>La mezcla de vitaminas (Teklad Test Diet, Madison, WI) proporciona las vitaminas activas necesarias cuando se añaden en una proporción del 1% (Cuadro 22, Apéndice B).

<sup>2</sup>La mezcla de minerales Rogers-Harper (1965) proporciona las sales minerales presentadas en el Cuadro 23, Apéndice B.

<sup>3</sup>Son la única variable que se maneja en la composición de la dieta. Estas son catorce: siete harinas nixtamalizadas y siete harinas extrudidas, por lo tanto por cada proceso se tienen Maíz 100%, Sorgo colorido 100%, Sorgo perlado 100%, Sorgo colorido 15%-Maíz 85%, Sorgo perlado 15%-Maíz 85%, Sorgo colorido 40%-Maíz 60% y Sorgo perlado 40%-Maíz 60%.

La dieta con proteína de referencia (caseína) se preparó siguiendo la formulación del Cuadro 8.

Todas las dietas se marcaron con una sustancia indigerible

conocida como pan de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  mezclado con almidón, ver Apéndice B) y se homogeneizaron usando un mezclador de polvos durante 20 min.

Los datos y cálculos necesarios para obtener el valor de REP se localizan en el Apéndice B.

#### Análisis estadístico de los resultados

Los resultados obtenidos fueron tratados estadísticamente realizando el análisis de varianza y la prueba t a un nivel de significancia del 5% para determinar si hay diferencias significativas entre ambos procesos.

#### 4.5.2 DIGESTIBILIDAD APARENTE USANDO $\text{Cr}_2\text{O}_3$ COMO INDICADOR EXTERNO (DIGESTIBILIDAD "IN VIVO")

La digestibilidad de las dietas fue medida usando óxido crómico como un marcador indigerible (Schurch, 1950). El óxido crómico ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) se administró en forma de polvo en una proporción del 1% en relación al peso de las dietas las cuales adquirieron al final un color verde claro. La cuantificación del  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y del contenido de nitrógeno se realizó tanto en dietas como en heces (Apéndice A) y la digestibilidad aparente (DA) de la proteína de cada dieta se calculó con base en estos resultados (Apéndice B).

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

Para un mejor entendimiento de los datos se hará mención de las harinas de maíz 100%, sorgo colorido 100%, sorgo perlado 100%, sorgo colorido 15%-maíz 85%, sorgo perlado 15%-maíz 85%, sorgo colorido 40%-maíz 60% y sorgo perlado 40%-maíz 60% como M 100, SC 100, SP 100, SC 15-M 85, SP 15-M 85, SC 40-M 60 y SP 40-M 60 respectivamente.

Los resultados se tienen ordenados de la siguiente manera:

El Cuadro 9 muestra los contenidos de impurezas, granos dañados, rotos y extraños, así como otras características físicas de los granos de maíz, sorgo colorido y sorgo perlado.

En el Cuadro 10 se presenta la composición proximal de los granos en estudio. Los resultados que se reportan son el promedio de cada determinación por duplicado.

En el Cuadro 11 se indica la cantidad de sólidos totales, en g/100 g, que se pierden tanto en el nejayote como en las aguas de lavado durante el proceso de nixtamalización de los cereales maíz, sorgos y sus respectivas mezclas.

El Cuadro 12 informa los resultados del rendimiento grano crudo-harina nixtamalizada obtenido después de cada proceso término-alcalino.

En el Cuadro 13 se reporta la composición química-proximal de las harinas nixtamalizadas en comparación con las harinas extrudidas de los granos en estudio, expresando los resultados en g/100 g en base seca.

Los Cuadros 14, 15 y 16 presentan el contenido de taninos expresados como equivalentes de catequina en base seca (g/100 g), el porcentaje de la digestibilidad "in vitro" de las proteínas y el contenido de calcio retenido en las harinas obtenidas en este

experimento. Los valores reportados son el promedio de un duplicado. La curva estándar para taninos se realizó hasta obtener reproducibilidad en los resultados (Correlación = 0.9996 como se puede observar en la gráfica de la Figura 9).

El Cuadro 17 indica el porcentaje de proteína de las dietas elaboradas con base en las harinas nixtamalizadas y extrudidas de maíz, sorgos y mezclas maíz-sorgos a dos concentraciones diferentes.

En los Cuadros 18, 19 y 20 se reportan los pesos ganados, alimento ingerido y relación de eficiencia proteica (REP) de ratas machos alimentados con las harinas de experimentación. Para evaluar las diferencias entre los valores de REP de los dos tipos de harinas (nixtamalizadas y extrudidas) se utilizó el análisis de varianza y la prueba  $t$  ( $\alpha = 0.05$ ).

En el Cuadro 21 se compara la digestibilidad aparente obtenida por el método del óxido crómico de las harinas en estudio.

Las Figuras 10, 11 y 12 son una representación gráfica de los resultados de los Cuadros 15, 20 y 21, muestran los valores de la digestibilidad "in vitro" e "in vivo" y de la REP.

La anterior descripción permite visualizar con mayor facilidad la tabulación de los resultados. A continuación se explicará más ampliamente cada cuadro.

El porcentaje de granos rotos es un índice del trato que han recibido los granos desde la cosecha, pasando por el desgranado de la mazorca, almacenamiento, transporte, etc.

En la caracterización física de los cereales (Cuadro 9) se observa que el maíz blanco tiene un porcentaje de granos rotos muy bajo, lo que se debe a que proviene de campos experimentales (tamaño del grano, pericarpio resistente que protege al endospermo de golpes y del rozamiento de los granos entre sí, etc.). A

diferencia del maíz, el sorgo colorido presenta un porcentaje de granos rotos mayor, lo que hace suponer que por tener un tamaño pequeño los granos de sorgo están más expuestos a sufrir rupturas (dado su origen desconocido puede haber sufrido manejo excesivo). El sorgo perlado (Kisel-Ha) no se puede caracterizar físicamente como los otros cereales, puesto que no se encuentra en su forma original ya que ha sufrido un proceso de decorticación. Sin embargo, aunque se caracterizó física y químicamente tomando como referencia la porción que se obtiene entera después del perlado y que constituye el 50% del total, no se pueden comparar sus resultados con los del maíz y sorgo colorido, pues aunque se conocen los resultados de las 3 fracciones de Kisel-Ha obtenidas después del perlado, se desconoce la composición de la fracción restante (aproximadamente el 35% del total y que está constituido básicamente por el salvado del sorgo "café-rojizo", precursor del Kisel-Ha).

El porcentaje de granos dañados fue mayor en el sorgo colorido debido a que se encontraron algunos insectos entre los granos, y también al manejo de los granos durante la cosecha, almacenamiento, etc. En ninguno de los cereales se encontraron indicios de granos extraños.

El % de impurezas fue más alto en el sorgo colorido lo que se debe principalmente al tamaño de los granos pues ello representa una dificultad para obtenerlos limpios.

El peso hectolítrico es un valor que puede indicar adulteraciones con otros granos de cereales distintos o bien, con granos de otra variedad del mismo cereal. En el caso de los granos analizados, no se puede hablar de adulteraciones, ya que no se encontraron diferencias entre los granos de una misma variedad. El peso del grano es otro índice de adulteraciones, puesto que cuan

Cuadro 9. Caracterización física de los granos de maíz, sorgo colorido y sorgo perlado.

|                                   | Maíz Blanco | Sorgo Colorido | Sorgo Perlado<br>(Kisel-Ha) |
|-----------------------------------|-------------|----------------|-----------------------------|
| Granos rotos (%)                  | 1.0         | 6.0            | 1.0                         |
| Granos dañados (%)                | 1.0         | 7.0            | 1.0                         |
| Granos extraños (%)               | 0.0         | 0.0            | 0.0                         |
| Impurezas (%)                     | 0.13        | 9.01           | 0.52                        |
| Peso hectolítrico<br>(Kg/100 l)   | 76.96       | 76.66          | 73.62                       |
| Peso del grano<br>(g/1000 granos) | 324.10      | 30.62          | 24.41                       |
| Densidad relativa<br>(g/ml)       | 1.30        | 1.285          | 1.278                       |

Cuadro 10. Análisis bromatológico de las materias primas.

|  | Maíz Blanco | Sorgo Colorido | Sorgo Perlado<br>(Kisel-Ha) |
|--|-------------|----------------|-----------------------------|
| Humedad (%) <sup>1</sup>                             | 11.53       | 11.25          | 13.47                       |
| Cenizas (%)  | 1.55        | 2.40           | 1.40                        |
| Proteína cruda (%)                                   | 10.10       | 11.48          | 9.41                        |
| Grasa cruda (%)                                      | 5.39        | 3.45           | 1.27                        |
| Fibra cruda (%)                                      | 2.32        | 2.80           | 0.76                        |
| Carbohidratos asi-<br>milables (por dife-<br>rencia) | 80.64       | 79.87          | 87.16                       |

<sup>1</sup>La humedad se indica en base al peso húmedo. Todos los otros corresponden al peso seco.

do un cereal está mezclado con granos de otro cereal, éstos últimos hacen que se modifique el peso total de los granos siendo proporcional al tamaño de los mismos. El tamaño del sorgo es 10 veces menor al del maíz y, por lo tanto, su peso es menor.

La densidad también es un valor característico de cada grano. Este valor es proporcional al rendimiento harinero de los cereales. En los granos analizados, se observa que el maíz blanco tiene un rendimiento ligeramente mayor que los granos de sorgo.

En lo referente a la composición química-proximal de los granos en estudio (Cuadro 10), se observa que la composición del grano de sorgo es muy parecida a la del maíz, tiene baja cantidad de fibra celulósica por la facilidad con que se separan las glumas y demás partes de la espiga de mayor contenido de celulosa. El sorgo perlado es el que presenta un valor más bajo de fibra cruda ya que carece de testa y pericarpio. La cantidad de proteína es ligeramente superior en el sorgo que en el maíz, y el contenido de grasa es menor en el sorgo integral que en el maíz pero superior al del sorgo perlado, debido también a la decorticación. Por la misma razón la cantidad de cenizas es inferior en el sorgo perlado que en el sorgo integral y maíz. En cuanto a carbohidratos, el grano de sorgo, después del maíz, es el que tiene mayor valor energético total.

En el proceso de nixtamalización se tienen pérdidas considerables de sólidos totales, en el nejayote y aguas de lavado, principalmente de los granos de sorgo siendo mayor en el sorgo colorido que en el perlado y que en el maíz y las mezclas maíz-sorgos. En los lavados, el maíz pierde más sólidos con el nejayote ya que con el movimiento y rozamiento de los granos se desprende con más facilidad la cascarilla; sin embargo son aún mayores las pérdidas

de sólidos en los granos de sorgo (Cuadro 11). Las pérdidas de sólidos totales y de compuestos solubles en álcali se reflejan en una disminución de los contenidos de fibra cruda, grasa y proteína que son los principales componentes de los granos en estudio.

Los resultados del rendimiento Harina nixtamalizada/grano crudo a nivel laboratorio (Cuadro 12) muestran que en todos los casos éste es muy cercano a la unidad en base seca, sobre todo en las harinas obtenidas después de la extrusión cuyos valores son un poco más elevados debido a la ausencia de aguas de desecho. Este rendimiento no llega al 100%, excepto para maíz nixtamalizado cuyo valor fue superior posiblemente a un error en la pesada, ya que además de las pérdidas de sólidos solubles y de la cascarilla que ocurren en la nixtamalización se tienen también mermas de harina que se adhiere en el interior del equipo de extrusión y del molino.

Observando los valores del Cuadro 13, se encuentra que los nutrientes de las harinas de granos nixtamalizados varían con respecto a los de las harinas de granos crudos (Cuadro 10) y harinas extrudidas. Esto se debe a que durante el proceso de nixtamalización suceden una serie de cambios, como el aumento de la solubilidad del nitrógeno, con lo que hay una disminución del contenido de proteínas. La fibra cruda disminuye como posible resultado de la reacción entre la cal y la celulosa de la cascarilla y por el lavado a que es expuesto el nixtamal. Existe un incremento en el contenido de cenizas por la adición del hidróxido de calcio, en cambio disminuyen las grasas debido a la acción que tiene el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sobre los glicéridos mediante una reacción de hidrólisis alcalina, dando finalmente ésteres.

La nixtamalización disminuye el contenido general de nutrientes, según estudios de Bressani y colaboradores (1958) quienes do

Cuadro 13. Volumen y contenido de sólidos totales del nejayote y aguas de lavado en la nixtamalización.

|                              | M 100 | SC 100 | SP 100 | SC15-M85 | SP15-M85 | SC40-M60 | SP40-M60 |
|------------------------------|-------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|
| <u>Nejayote</u>              |       |        |        |          |          |          |          |
| Vol. total (l)               | 5.23  | 4.60   | 2.21   | 3.53     | 3.66     | 2.39     | 3.80     |
| Sólidos totales (%)          | 0.98  | 6.0    | 3.7    | 2.5      | 2.2      | 2.0      | 1.3      |
| <u>1<sup>er</sup> Lavado</u> |       |        |        |          |          |          |          |
| Vol. total (l)               | 2.55  | 5.02   | 4.53   | 2.94*    | 1.86*    | 2.11*    | 2.10*    |
| Sólidos totales (%)          | 1.55  | 4.0    | 2.5    | 1.8      | 2.2      | 1.30     | 1.65     |
| <u>2<sup>o</sup> Lavado</u>  |       |        |        |          |          |          |          |
| Vol total (l)                | -     | 3.8    | 5.3    | -        | -        | -        | -        |
| Sólidos totales (%)          | -     | 3.0    | 0.7    | -        | -        | -        | -        |

\*Estos volúmenes corresponden al segundo nejayote obtenido después de agregar el sorgo a la mezcla.

Cuadro 12. Rendimiento (Base seca)<sup>1</sup>.

| Harinas    | Nixtamalizadas |                     |  | Extrudidas  |                     |  |
|------------|----------------|---------------------|--|-------------|---------------------|--|
|            | Grano crudo    | Harina <sup>2</sup> | Rendimiento                                    | Grano crudo | Harina <sup>2</sup> | Rendimiento                                    |
|            | (g)            | (g)                 | $\frac{\text{g Harina}}{\text{g Grano crudo}}$ | (g)         | (g)                 | $\frac{\text{g Harina}}{\text{g Grano crudo}}$ |
| M 100      | 4342           | 4490                | 1.03   | 4392        | 4254                | 0.97   |
| SC 100     | 4378           | 3994                | 0.91   | 4482        | 4354                | 0.97   |
| SP 100     | 4335           | 4002                | 0.92   | 4313        | 4039                | 0.94   |
| SC 15-M 85 | 4412           | 4154                | 0.94   | 4566        | 4475                | 0.98   |
| SP 15-M 85 | 4584           | 4127                | 0.90   | 4502        | 4332                | 0.96   |
| SC 40-M 60 | 4390           | -                   | -  | 4418        | 4328                | 0.98   |
| SP 40-M 60 | 4580           | 4135                | 0.90   | 4520        | 4294                | 0.95   |

<sup>1</sup>Datos obtenidos a nivel laboratorio.

<sup>2</sup>Harina obtenida después de cada tratamiento térmico-alcalino.

Quadro 13. Composición proximal de las harinas de maíz, sorgo integral, sorgo perlado y mezclas de maíz-sorgos integral y perlado, nixtamalizados y extrudidos (g/100 g en peso seco).

|                           | M 100 |       | SC 100 |       | SP 100 |       | SC 15-M 85 |       | SP 15-M 85 |       | SC 40-M 60 |       | SP 40-M 60 |       |
|---------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|                           | N     | E     | N      | E     | N      | E     | N          | E     | N          | E     | N          | E     | N          | E     |
| Proteína                  | 8.95  | 10.37 | 8.52   | 8.55  | 9.08   | 9.7   | 9.22       | 10.02 | 9.6        | 9.78  | 9.35       | 9.45  | 8.96       | 9.73  |
| Grasa                     | 5.07  | 5.46  | 2.9    | 2.74  | 1.01   | 0.97  | 4.65       | 4.29  | 4.67       | 4.54  | 4.27       | 3.92  | 3.64       | 4.09  |
| Fibra cruda               | 2.11  | 2.76  | 2.67   | 2.82  | 0.59   | 0.66  | 2.04       | 2.27  | 1.88       | 2.07  | 2.15       | 2.42  | 1.27       | 1.58  |
| Cenizas                   | 1.44  | 1.82  | 2.25   | 2.76  | 0.72   | 0.98  | 1.36       | 1.76  | 1.33       | 1.68  | 1.39       | 1.83  | 1.13       | 1.50  |
| Carbohidratos asimilables | 82.43 | 79.58 | 83.66  | 84.63 | 88.60  | 87.69 | 82.73      | 81.66 | 82.52      | 81.93 | 82.84      | 82.38 | 85.00      | 83.10 |

N = nixtamalizados

E = extrudidos

cumentaron pérdidas significantes de tiamina, riboflavina, niacina, nitrógeno, grasa y fibra cruda.

Las harinas extrudidas no presentan pérdidas considerables de estos componentes, a excepción de la grasa cuyos contenidos son menores posiblemente como resultado de la hidrólisis alcalina de los glicéridos y de la formación del complejo amilosa-lípido. La interacción de las moléculas de almidón con los aceites, mono y diglicéridos, y ácidos grasos durante el proceso de extrusión ha sido investigada por Mercier y col. (1980). Cuando el almidón de los cereales contiene ácidos grasos naturales se forma un complejo amilosa-ácido graso durante la extrusión.

Kim y Rottier (1980) estudiaron el efecto de la temperatura de extrusión sobre la estructura del gránulo de almidón. A temperaturas de 125°C, los gránulos de almidón presentan una cantidad considerable de ruptura mecánica. Mercier y col. (1980) encontraron que la extrusión destruye completamente la estructura organizada del almidón. Es evidente que el almidón se gelatiniza a través de la acción del calor y cizallamiento mecánico durante la extrusión. El contenido de humedad es otra variable que también ejerce mayor efecto sobre la gelatinización (Gómez y Aguilera, 1983).

En cuanto a los taninos, compuestos polifenólicos de gran importancia por la facilidad que tienen de precipitar proteínas haciéndolas inaprovechables, los resultados indican (Cuadro 14) valores bajos para ambos procesos lo cual parece deberse a la eliminación de los taninos por efecto del calor y pH; o bien, al complejo tanino-proteína que se forma durante el tratamiento térmico-alcalino de nixtamalización y de extrusión. Posiblemente esta nueva estructura que adquieren los taninos hace difícil su extracción durante el análisis. Los taninos se expresan como

equivalentes de catequina en base seca (Fig. 9), pues por estudios realizados se ha encontrado que los principales taninos de los cereales son del tipo condensados siendo los flavan 3-oles ó catequinas y los flavan 3-4 dioles ó leucoantocianidinas los dos grupos más importantes (Strumeyer y Malin, 1975). Los grupos activos de estos compuestos son los grupos hidroxifenólicos los cuales forman puentes de hidrógeno con los grupos carbonilo libres de las proteínas para finalmente formar complejos taninos-proteínas. En el tratamiento alcalino a temperatura de ebullición usando NaOH, KOH ó  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.05 M se eliminan el 80% de los taninos presentes en el grano de sorgo (Chavan y col., 1979). En el proceso de nixtamalización no se obtuvieron resultados con tanta eficiencia; en cambio en el proceso de extrusión se observan resultados más favorables. Al disminuir el contenido de taninos, es probable que se mejore la digestibilidad del grano. Viendo los valores de la digestibilidad "in vitro" (Cuadro 15), se puede distinguir que las harinas extrudidas tienen una digestibilidad mayor a la de las harinas nixtamalizadas, sobre todo para las harinas de sorgo y sus respectivas mezclas. Esto se debe en gran parte, al bajo contenido de taninos y a la desnaturalización de las proteínas como consecuencia del pH y de las elevadas temperaturas a las cuales se trabaja en la extrusión. En este caso se puede suponer que los taninos se destruyen por las condiciones antes mencionadas, dando lugar a una mejor disponibilidad de las proteínas. Además en el sorgo, la mayoría de los taninos se localizan en el pericarpio y testa. Por lo tanto, el decortinado o perlado del sorgo tiene un efecto positivo sobre la digestibilidad de la proteína "in vitro". Los taninos inhiben las actividades de las enzimas digestivas (Tamir y Alumot, 1969), por lo que también se puede pensar que los taninos presentes en

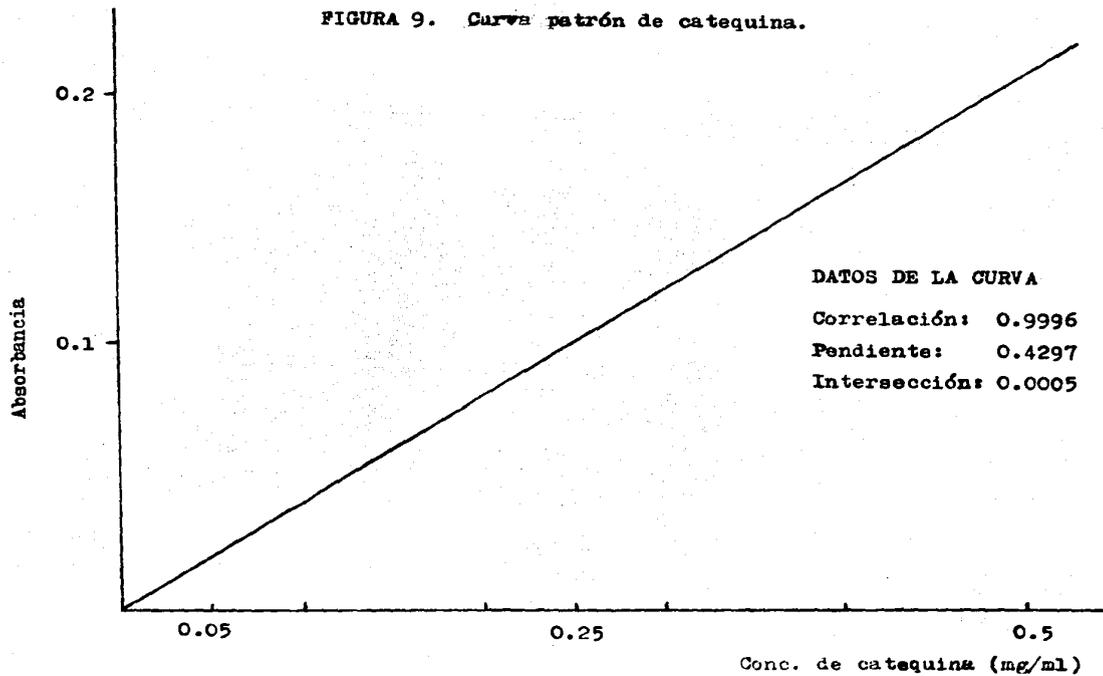
Cuadro 14. Contenido de taninos (expresados como equivalentes de catequina en base seca) en las muestras estudiadas de harinas de granos crudos, nixtamalizados y extrudidos.

| Harinas    | Equiv. de catequina (base seca), g/100 g |                |            |
|------------|--|----------------|------------|
|            | Crudos                                   | Nixtamalizados | Extrudidos |
| M 100      | 0.0256                                   | 0.0385         | 0.0085     |
| SC 100     | 0.1328                                   | 0.0758         | 0.0701     |
| SP 100     | 0.0563                                   | 0.0375         | 0.0243     |
| SC 15-M 85 | 0.0699                                   | 0.0698         | 0.0458     |
| SP 15-M 85 | 0.0513                                   | 0.0321         | 0.0329     |
| SC 40-M 60 | 0.1265                                   | 0.1265         | 0.0612     |
| SP 40-M 60 | 0.0639                                   | 0.0383         | 0.0346     |

Cuadro 15. Comparación de la digestibilidad "in vitro" de harinas crudas, nixtamalizadas y extrudidas.

| Harinas    | % Digestibilidad "in vitro" |                |            |
|------------|-----------------------------|----------------|------------|
|            | Crudas                      | Nixtamalizadas | Extrudidas |
| M 100      | 82.75                       | 83.86          | 88.10      |
| SC 100     | 70.86                       | 60.97          | 86.29      |
| SP 100     | 81.56                       | 74.08          | 85.88      |
| SC 15-M 85 | 76.84                       | 77.24          | 87.28      |
| SP 15-M 85 | 81.86                       | 77.40          | 87.27      |
| SC 40-M 60 | 74.51                       | 64.42          | 88.56      |
| SP 40-M 60 | 83.76                       | 65.85          | 86.45      |

FIGURA 9. Curva patrón de catequina.



el sorgo colorido pudieron haber inhibido la actividad de la enzima proteolítica pepsina, lo que se indica por tener el valor más bajo de digestibilidad. En un artículo bastante reciente (Hamaker y col., 1986) se estudió la digestibilidad "in vitro" con pepsina y/o una mezcla de tripsina y quimotripsina. Los granos crudos tenían valores de digestibilidad similares pero después de cocidos la digestibilidad de la proteína del sorgo disminuyó; también, los autores midieron las prolaminas y encontraron que eran mucho menos solubles las del sorgo que las del maíz. Esto indicaría un comportamiento diferente de las proteínas de ambos cereales que podría explicar el fenómeno de la menor digestibilidad de las proteínas del sorgo cocido en niños pequeños, observado por MacLean y colaboradores (1981) y en este estudio.

La influencia del cizallamiento y calor, producidos durante la extrusión, sobre la digestibilidad del triticale fue investigada por Lorenz y col. (1974), quienes encontraron que la velocidad de hidrólisis con tripsina no se afectó al incrementar la temperatura de extrusión, mientras que el tamaño del disco sí influyó en la digestibilidad. Las muestras extrudidas con un disco más pequeño sufren mayor presión y roce mecánico que aquéllas producidas con un disco más grande y, por lo tanto, su velocidad de hidrólisis es menor.

Las harinas extrudidas, al igual que las harinas nixtamalizadas provienen de granos que fueron cocidos en presencia de cal, pero existe la ventaja de que en la extrusión se tiene un ahorro en el consumo de cal (0.8-1.5% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se requiere en el método convencional versus 0.3 en el proceso de extrusión). Esto se puede apreciar en el Cuadro 16, en donde el calcio agregado originalmente a las harinas crudas, expresado en base seca, no se modificó durante el proceso de extrusión. En cambio en las harin

Cuadro 16. Contenido de calcio en harinas nixtamalizadas y extrudidas.

| Harinas    | % Base seca (g/100 g)                       |   |                                       |   |
|------------|---|---|---------------------------------------|---|
|            | Calcio agregado antes de la nixtamalización | Calcio retenido después de la nixtamalización | Calcio agregado antes de la extrusión | Calcio retenido después de la extrusión |
| M 100      | 0.4767                                      | 0.1290  | 0.1976                                | 0.1575                                  |
| SC 100     | 0.8813                                      | 0.4772  | 0.2013                                | 0.1806                                  |
| SP 100     | 0.1162                                      | 0.0882  | 0.1976                                | 0.1666                                  |
| SC 15-M 85 | 0.4715                                      | 0.1019  | 0.1976                                | 0.1702                                  |
| SP 15-M 85 | 0.4767                                      | 0.1034  | 0.1976                                | 0.1698                                  |
| SC 40-M 60 | 0.4700                                      | 0.0773  | 0.2013                                | 0.1705                                  |
| SP 40-M 60 | 0.4725                                      | 0.0913  | 0.2000                                | 0.1669                                  |

Cuadro 17. Porcentaje de Proteína (% Nitrógeno x 6.25) de las dietas de maíz, sorgos y mezclas maíz-sorgos nixtamalizados y extrudidos.

| Dietas     | Harinas nixtamalizadas | Harinas extrudidas |
|------------|------------------------|--------------------|
|            | % Proteína             | % Proteína         |
| M 100      | 7.25                   | 8.81               |
| SC 100     | 7.00                   | 7.38               |
| SP 100     | 7.63                   | 8.19               |
| SC 15-M 85 | 8.13                   | 8.31               |
| SP 15-M 85 | 8.13                   | 8.69               |
| SC 40-M 60 | 8.62                   | 8.44               |
| SP 40-M 60 | 7.88                   | 8.44               |

nas nixtamalizadas se observa una disminución de calcio por las pérdidas en las aguas residuales del proceso. Aun así, es mayor el contenido de calcio en las harinas nixtamalizadas que en las crudas.

El contenido de proteína de las dietas en estudio (Cuadro 17) se encuentra alrededor de un 8%. Este porcentaje varía ya que se trata de diferentes fuentes proteicas, así como de dos procesos térmico-alcálinos distintos.

Los animales empleados tuvieron un consumo total de alimento entre 150 y 200 g siendo mayor para el maíz que para los dos tipos de sorgo y sus respectivas mezclas, tanto en las harinas nixtamalizadas como en las extrudidas. En las dietas de caseína el consumo fue superior a los 200 g (Cuadros 18 y 19). Con respecto a la ganancia de peso, en general se observa que a mayor concentración de sorgo en las mezclas, la ganancia es menor. Esto se debe, en parte, porque el consumo de alimento fue menor y también por la presencia de una variedad con alto contenido de taninos (sorgo colorido), compuestos polifenólicos que ocasionan un retraso en el crecimiento. Este efecto puede deberse al mecanismo de reacción entre las proteínas y los taninos, lo cual hace que las proteínas sean menos disponibles; ó también, a que los taninos inhiben las enzimas digestivas en especial tripsina, alfa-amilasa y lipasa, disminuyendo la digestibilidad de materia orgánica proteica y no proteica. Los animales alimentados con caseína presentaron el valor más alto de REP, mientras que los alimentados con dietas de harina de sorgo colorido tuvieron valores menores. Esto se debe a que las proteínas del sorgo son deficientes en lisina y triptofano (al igual que el maíz), y esto, aunado a la presencia de taninos en las dietas hacen que el alimento sea poco aprovechable. A pesar de que el SP 100 presenta bajo contenido

Cuadro 18. Peso ganado, alimento ingerido y relación de eficiencia proteica (REP) de ratas alimentadas con dietas de granos nixtamalizados.

|             | Ganancia en<br>peso (g) | Error<br>std. | Alimento<br>ingerido<br>(g) | Error<br>std. | REP expe<br>rimental | Error<br>std. | REP ajustado* | Error<br>std. |
|-------------|-------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| M 100       | 19.73                   | ± 3.71        | 195.23                      | ± 21.49       | 1.39                 | ± 0.23        | 1.32          | ± 0.18        |
| SC 100      | 4.60                    | 2.02          | 160.57                      | 22.20         | 0.42                 | 0.18          | 0.38          | 0.16          |
| SP 100      | 2.45                    | 1.39          | 148.65                      | 13.93         | 0.21                 | 0.10          | 0.19          | 0.10          |
| SC 15-M 85  | 14.97                   | 1.68          | 161.90                      | 20.54         | 1.12                 | 0.24          | 1.01          | 0.22          |
| SP 15-M 85  | 14.82                   | 4.77          | 179.73                      | 24.69         | 1.03                 | 0.13          | 0.94          | 0.12          |
| SC 40-M 60  | 13.80                   | 3.93          | 171.62                      | 10.23         | 0.93                 | 0.25          | 0.84          | 0.23          |
| SP 40-M 60  | 10.54                   | 3.02          | 171.29                      | 15.22         | 0.77                 | 0.18          | 0.70          | 0.16          |
| Caseína 10% | 64.18                   | 8.79          | 233.79                      | 21.23         | 2.75                 | 0.23          | 2.5           |               |
| Caseína 8%  | 42.06                   | 3.74          | 215.88                      | 18.95         | 2.44                 | 0.29          |               |               |

\*Ajustado a 2.5 para caseína 10%.

Cuadro 19. Peso ganado, alimento ingerido y relación de eficiencia proteica (REP) de ratas alimentadas con dietas de harinas extrudidas.

|             | Ganancia en<br>peso (g) | Error<br>std. | Alimento<br>ingerido<br>(g) | Error<br>std. | REP expe<br>rimental | Error<br>std. | REP ajustado* | Error<br>std. |
|-------------|-------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| M 100       | 29.11                   | ± 4.41        | 238.50                      | ± 22.37       | 1.39                 | ± 0.15        | 1.37          | ± 0.14        |
| SC 100      | 9.20                    | 2.69          | 176.92                      | 7.59          | 0.70                 | 0.18          | 0.69          | 0.18          |
| SP 100      | 1.86                    | 2.46          | 143.09                      | 7.01          | 0.19                 | 0.22          | 0.19          | 0.21          |
| SC 15-M 85  | 17.17                   | 6.27          | 186.21                      | 19.07         | 1.09                 | 0.29          | 1.08          | 0.29          |
| SP 15-M 85  | 13.90                   | 5.35          | 174.06                      | 40.10         | 0.89                 | 0.19          | 0.88          | 0.18          |
| SC 40-M 60  | 11.12                   | 3.62          | 158.37                      | 14.40         | 0.82                 | 0.23          | 0.81          | 0.17          |
| SP 40-M 60  | 9.10                    | 2.81          | 156.15                      | 12.83         | 0.68                 | 0.17          | 0.67          | 0.22          |
| Caseína 10% | 73.26                   | 21.86         | 289.40                      | 17.01         | 2.53                 | 0.27          | 2.5           |               |
| Caseína 8%  | 48.66                   | 5.75          | 247.63                      | 25.84         | 2.45                 | 0.22          |               |               |

\*Ajustado a 2.5 para caseína 10%.

de taninos no se observa una mejoría en la REP con respecto a la del SC, esto puede deberse a que en el decortinado además de taninos se eliminan otros nutrientes de gran importancia entre los que pueden encontrarse vitaminas y algunas proteínas presentes en la capa aleurona. Sin embargo, a simple vista se puede apreciar que el SP puede usarse a un nivel de sustitución del 40% sin que se afecte el color de la harina obtenida, por lo que su uso sería básicamente como extensor.

Entre los valores de la REP de las harinas de granos nixtamalizados y de granos extrudidos no se encontraron diferencias a un nivel de significancia del 5%, lo que indica que los procesos aplicados son semejantes en cuanto al daño que causan en las proteínas. En cambio, entre harinas sí existen diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) en cada proceso. En 1979, Bazúa y colaboradores usaron harina de maíz extrudida como una alternativa al maíz tratado en forma alcalina para la producción de tortillas, no encontrando diferencias en aroma, textura y color con aquéllas elaboradas por el método convencional.

En el Cuadro 20 se observa que en ambos procesos la dieta de M 100 reporta el valor máximo de REP de todas las otras dietas, siendo de 48% con respecto a la caseína para maíz nixtamalizado y 54.15% con respecto a la caseína para maíz extrudido. Entre las mezclas existen pequeñas variaciones en el porcentaje de REP con respecto al de caseína siendo las mezclas 15-85 sorgos-maíz las de mayor porcentaje en comparación con las mezclas 40-60. Los valores mínimos corresponden a los sorgos 100%, de los cuales el sorgo perlado tiene el valor más bajo. Las proteínas de alta calidad, en cantidades adecuadas, son requeridas para mantener el crecimiento normal de los animales, mientras que las proteínas de baja calidad (incompletas en cuanto a los aminoácidos

Cuadro 20. Valores de REP ajustado y REP como % de REP de caseína de harinas nix-tamalizadas y harinas extrudidas.

| Dieta       | Harinas nixtamalizadas   |               |                                    | Harinas extrudidas       |               |                                    |
|-------------|--------------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------------|
|             | REP ajusta<br>do (prom.) | Error<br>std. | REP como %<br>de REP de<br>caseína | REP ajusta<br>do (prom.) | Error<br>std. | REP como %<br>de REP de<br>caseína |
| M 100       | 1.32                     | 0.22          | 48.00                              | 1.37                     | 0.14          | 54.15                              |
| SC 100      | 0.38                     | 0.10          | 13.82                              | 0.69                     | 0.18          | 27.27                              |
| SP          | 0.19                     | 0.16          | 6.91                               | 0.19                     | 0.21          | 7.51                               |
| SC 15-M 85  | 1.01                     | 0.22          | 36.72                              | 1.08                     | 0.29          | 42.69                              |
| SP 15-M 85  | 0.94                     | 0.12          | 34.18                              | 0.88                     | 0.18          | 34.78                              |
| SC 40-M 60  | 0.84                     | 0.23          | 30.54                              | 0.81                     | 0.22          | 32.02                              |
| SP 40-M 60  | 0.70                     | 0.16          | 25.45                              | 0.67                     | 0.17          | 26.48                              |
| Caseína 10% | 2.75                     | 0.23          | 100.00                             | 2.53                     | 0.27          | 100.00                             |

esenciales que contienen) reducen el crecimiento. Las leguminosas y los cereales son considerados como de baja calidad puesto que son deficientes en metionina y lisina, respectivamente.

Es importante mencionar que los valores de la REP experimental de las dietas se ajustaron con los valores de la REP de caseína 10% (experimental y de referencia), pues aunque se trabajó con dos controles de caseína (10% y 8%) no se encontraron diferencias significativas entre ambas dietas de referencia, razón por la cual para efectos comparativos se eligió el valor de caseína 10%.

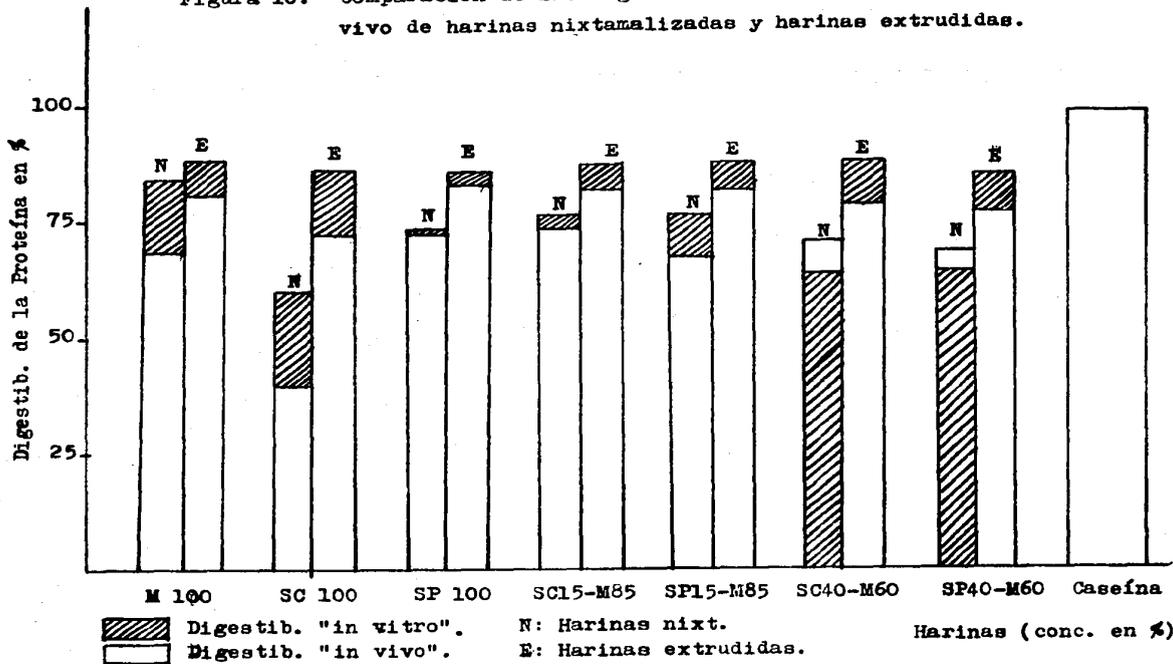
En lo referente a la digestibilidad aparente obtenida por el método del óxido crómico, los resultados fueron más bajos para las harinas nixtamalizadas que para las extrudidas (Cuadro 21). La digestibilidad de las harinas de SC 100 obtenidas en ambos procesos, tiene una diferencia aproximadamente 3 veces mayor a todas las demás favoreciendo a la harina extrudida. El anterior resultado se debe probablemente a que el tratamiento térmico aplicado al sorgo colorido durante la extrusión fue suficiente para inhibir los efectos de los taninos sobre las proteínas. Esta mejoría en la digestibilidad de SC indica un mejor aprovechamiento de las proteínas, lo cual se observa por un incremento en el valor de la REP, aunque como se mencionó anteriormente no se encontraron diferencias significativas entre los dos procesos (Fig. 10).

Las Figs. 11 y 12 son una representación gráfica de los resultados presentados en el Cuadro 20 y tienen como objetivo visualizar las diferencias obtenidas con las diferentes dietas en el valor de la REP con respecto a la proteína patrón (caseína) y entre ellas mismas.

Cuadro 21. Comparación de la digestibilidad aparente por el método del  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , de harinas nixtamalizadas y harinas extrudidas de maíz, sorgos y mezclas.

| Harinas    | % Digestibilidad "in vivo" |            |
|------------|----------------------------|------------|
|            | Nixtamalizadas             | Extrudidas |
| M 100      | 68.80                      | 81.03      |
| SC 100     | 40.38                      | 73.30      |
| SP 100     | 73.37                      | 83.01      |
| SC 15-M 85 | 74.29                      | 81.73      |
| SP 15-M 85 | 68.41                      | 82.31      |
| SC 40-M 60 | 71.50                      | 78.90      |
| SP 40-M 60 | 70.19                      | 78.69      |
| Caseína    | 87.82                      | 89.06      |

Figura 10. Comparación de las digestibilidades "in vitro" e "in vivo" de harinas nixtamalizadas y harinas extrudidas.



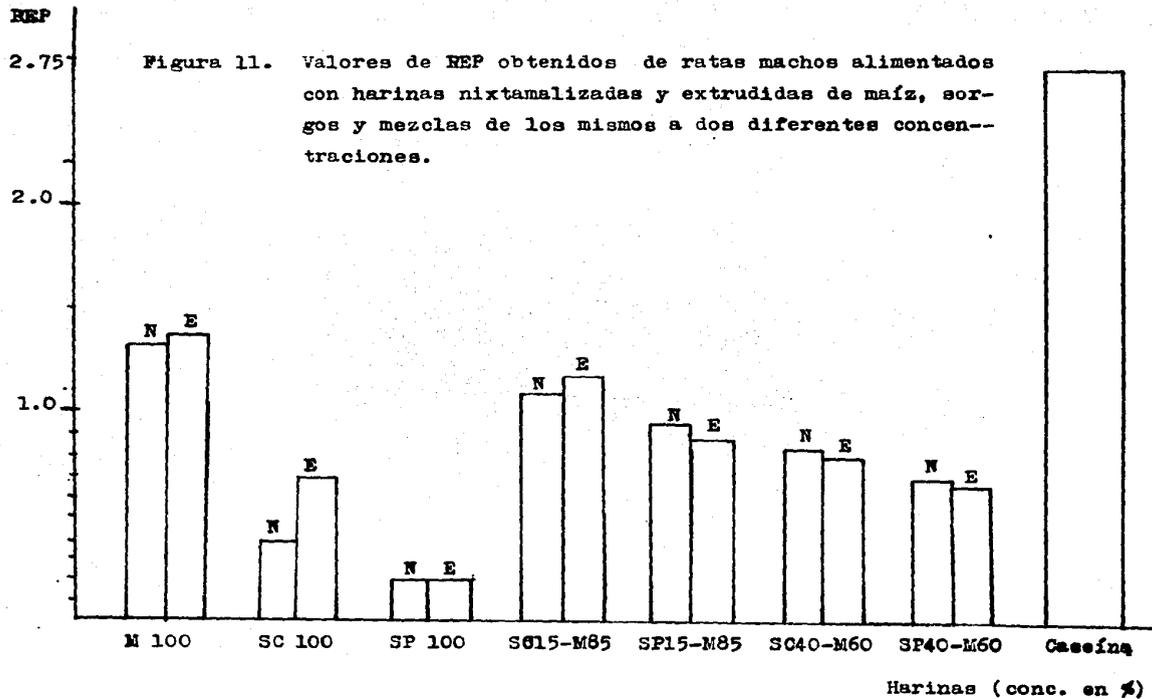
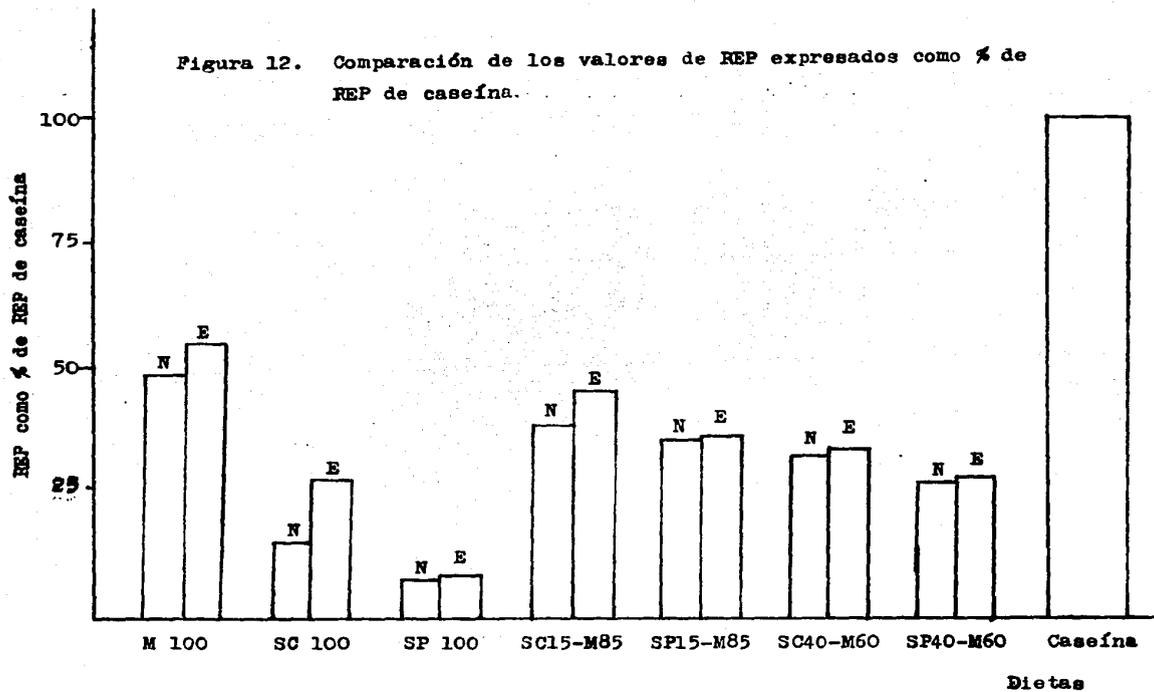


Figura 12. Comparación de los valores de REP expresados como % de REP de caseína.



## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en el desarrollo experimental permiten concluir lo siguiente:

1. Debido a la sustitución de campos dedicados al cultivo maicero por cultivos de sorgo, ha aumentado la producción de éste, mientras que la del maíz ha permanecido estática. Esto da una idea de la importancia que tiene el sorgo como sustituto parcial del maíz en la elaboración de tortillas. El sorgo se puede usar solamente como extensor de maíz ya que su proteína, al igual que la del maíz, es de calidad inferior a las proteínas de origen animal siendo deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano.
2. La brevedad del período de cocimiento en el sistema de extrusión, significa una destrucción menor del contenido de nutrientes. Además, no hay pérdidas de sólidos solubles debido a que no se producen aguas de desecho, ni se crean problemas de contaminación ambiental al no existir dichas aguas. En el proceso de extrusión se reduce el consumo de cal y agua.
3. La importancia de eliminar a los taninos que se encuentran principalmente en el grano de sorgo, se debe a la interacción que existe entre éstos y las proteínas formando complejos que no son metabolizados por los animales, haciendo que el valor nutritivo del alimento se reduzca. Al disminuir el contenido de taninos se mejora la digestibilidad del grano como resultado de una mejor disponibilidad de las proteínas. A pesar de esto, no se observó mejoría en la REP de harinas extrudidas que fue donde se obtuvieron valores más bajos de

taninos y más altos de digestibilidad, debido a que las proteínas del maíz y sorgo son de baja calidad.

4. Los dos tipos de sorgo (colorido y perlado) y las mezclas maíz-sorgos en concentraciones 85-15 y 60-40, no fueron capaces de superar ni tampoco de igualar el valor de REP del maíz (1.32 REP de maíz nixtamalizado y 1.37 REP de maíz extrudido), lo mismo para harinas nixtamalizadas que para harinas extrudidas. El único valor que más se aproximó fue el de la mezcla SC 15-M 85 (1.01 y 1.08 respectivamente). Debido a la decorticación, el sorgo colorido, a pesar de su elevado contenido de taninos, tiene mayor calidad nutritiva que el sorgo perlado (0.38 versus 0.19 en la nixtamalización y 0.69 versus 0.19 en la extrusión). Sin embargo, el sorgo perlado a diferencia del colorido puede usarse a un nivel de sustitución del 40% sin que se afecte el color de la harina obtenida al final de cada proceso, por lo que su uso estaría destinado solamente como extensor de maíz.
5. El proceso de extrusión es un posible método alternativo al de la nixtamalización. La calidad de la proteína medida por la prueba biológica REP de las harinas extrudidas es similar a la de las harinas nixtamalizadas para los mismos granos. Por lo tanto, se puede concluir que el propósito de aplicación del proceso de extrusión, es usar esta operación para cocer el maíz y el sorgo, y producir una harina semejante a las harinas obtenidas por el proceso tradicional de cocción térmico-alcalino, conocido como nixtamalización, reduciendo tiempos de proceso y consumo de insumos (energía y agua de proceso).

Se ha observado cómo el proceso de extrusión ofrece favorables ventajas sobre el proceso de nixtamalización principalmente porque desde el punto de vista nutritivo el daño que sufren las proteínas es casi nulo, pero también sería importante cuantificar el daño que sufren las vitaminas, en particular la niacina, vitamina del complejo B que previene la pelagra; así como de su precursor el triptofano cuya conversión a niacina es favorecida por el proceso térmico-alkalino. Se ha documentado que en la nixtamalización tradicional existen pérdidas considerables de tiamina, riboflavina y niacina por lo que resultaría de gran interés realizar estudios en harinas extrudidas.

El presente trabajo ha aseverado la bondad nutricia del proceso de extrusión como proceso alternativo al método tradicional de nixtamalización de los granos de maíz, sorgos (integral y perlado) y mezclas de los mismos. Ahora, queda a trabajos posteriores estudiar la factibilidad de esta nueva operación contemplando el aspecto económico, el cual permitirá su uso tanto en el medio rural como urbano sin que se eleve enormemente el costo de la harina o masa obtenida, principalmente, para la elaboración de tortillas.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Acosta, H.; Corte, S. y Camacho, A. (1982). Desarrollo de ex trusores de bajo costo. Pub. CIATECH, Chihuahua, Chih.
2. Alarcón, A.L. (1985). Evaluaciones biológicas en tortillas elaboradas con mezclas de maíz-sorgo (híbrido; tarasco). Te sis Profesional. Facultad de Química, UNAM. México.
3. Alarcón, A.L.; Durán de Bazúa, 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 (Agosto): 27-31.
4. Alarcón, A.L.; Guerra, R.; Pedroza de Brenes, R.; Nieto de Meléndez, Z. y Durán de Bazúa, C. (1985). Mezclas nixtamali zadas de maíz y sorgo. Evaluaciones en masas y tortillas. Pruebas reológicas y sensoriales. Tecnol. Aliment. (México) 20 (1): 6-11.
5. Akbson, W.B. y Stahmann, M. (1964). A pepsin-pancreating di gest index of protein quality. J. Nutr. 83:257-261.
6. Anon (1964). Joint United States-Canadian tables of feed com position. Natl. Acad. Sci., Natl. Res. Council Publ. 1232.
7. A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists) (1980) "Official Methods of Analysis". Washington, D.C., U.S.A.
8. Balavady, B.; Madhavan, T.V. y Gopalan, C. (1967). Production of niocinic acid deficiency in pups fed diets supplemented with leucine. Gastroenterology 53:749-753.
9. Bazúa, C.D. de; Guerra, R. y Rodríguez, A. (1976). High-Lysi ne corn traditional Mexican products. Presentado en el First International Congress on Engineering and Food. Boston, Massa chusetts, EE.UU. de A. Agosto.
10. Bazúa, C.D. de; Iruegas, A.; Pedroza, R.; Guerra, R.; Nieto, Z. y Rodríguez, A. (1978). Corn-sorghum tortillas: Nutritio-

- nal and organoleptic evaluations. Sixth International Cereal and Bread Congress. Winnipeg, Canadá (Septiembre):16-22.
11. 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.
  12. Bernhardt, E.O. (1974). Processing of thermoplastic materials. Krieger Publishing Co. p. 154-302. Huntington, N.Y.
  13. Betanzos, E. (1970). El sorgo en la alimentación humana. Perspectivas para México. Informe Interno de Investigación. INIA, Chapingo, México.
  14. Betanzos, E. (1974). Elaboración de productos tradicionales sustituyendo maíz por sorgo. Pruebas a nivel laboratorio. Informe Interno de Investigación. INIA, Chapingo, México.
  15. Bjarnason, J. y Carpenter, K.J. (1970). Mechanism of heat damage in proteins. Brit. J. Nutr. 24:313.
  16. Bressani, R.; Braham, J.E. y Béhar, M. (1972). Mejoramiento Nutricional del maíz. Publicación INCAP L-3:325. Guatemala, Guatemala.
  17. 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.
  18. Bressani, R. y Scrimshaw, N.S. (1958). Effect of lime-treatment on in vitro availability of esencial amino acids and solubility of protein fractions in corn. J. Agric. Food Chem. 6(10):774-778.
  19. Chavan, J.K.; Kadam, S.S.; Ghonsikar, C. y Salunkhe, D.K. (1979). Removal of tannins and improvement of in vitro protein digestibility of sorghum seeds by soaking in alkali. J. Food Sci. 44:1319-1321.
  20. Cravioto, R. y Cervantes, M. (1965). Eficiencia proteica de

- la harina de masa enriquecida con harina de soya y de la adi  
cionada con proteínas de ajonjolí. *Ciencia*, 24:159.
21. Cravioto, Y.O.; Cravioto, R.; Huerta, R. y Guzmán, J. (1950). Comparación del valor biológico de las proteínas del maíz, tortilla y tortilla-soya. *Ciencia*, 10:145.
  22. Del Valle, F.R. (1972). Producción Industrial, distribución y mercadeo de harina para tortillas en México. En: Simposio sobre Desarrollo y Utilización de Maíces de Alto Valor Nutritivo. p. 157-182. Colegio de Postgraduados, ENA, Chapingo, Méx.
  23. Doggett, H. (1970). *Sorghum*. Longmans Green and Co. Ltd. London.
  24. Durán, C. (1984). Discusión y conclusiones de la mesa de trabajo: "El sorgo en los alimentos". Primera Reunión Nacional de Sorgo. Marín, N.L., Méx. (Octubre): 22-26.
  25. 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 N. 173038.
  26. Durán, C. y Venado, A. (1977). Efecto de la nixtamalización en la composición química del sorgo. Informe Interno de Investigación, INIA, Chapingo, Méx.
  27. 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. Aliment. (Méx.)* 15 (6):4-11.
  28. Edwards, H.M. y Gillis, M.B. (1959). A chromic oxide balance method for determining phosphate. *Poultry Sci.* 38:369.
  29. Estrada, O.C.; Herrero, M.L. y Lara, A.V. (1986). Harina de maíz nixtamalizada, estudio comparativo entre el proceso tra  
dicional y el proceso de extrusión. Tesis Profesional. Escuela de Química, Univ. La Salle. México.

30. Gómez, M.H. y Aguilera, J.M. (1983). Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. *J. Food Science* 48:378-381.
31. Gopalan, G. (1970). *Am. J. Clin. Nutr.* 23:33-51.
32. Guerra, R. (1978). Extrusión, una nueva tecnología aplicada al procesamiento del maíz normal y opaco-2. Tesis Profesional Facultad de Química, UNAM. México.
33. 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.
34. Guerrero, M. y Lugo, P. (1980). Cambios fisicoquímicos que sufre el maíz en la nixtamalización. Tesis Profesional. Fac. de Química, UNAM. México.
35. Hamaker, B.R.; Kirleis, A.W.; Mertz, E.T. y Axtell, J.D. (1986). Effect of cooking on the protein profiles and in vitro digestibility of sorghum and maize. *J. Agric. Food Chem.* 34 (4):647-649.
36. Harper, J.M. (1979). Food extrusion. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* p. 155-215.
37. Hauck, B.W. (1980). Marketing opportunities for extrusion cooked products. *Cereal Foods World* 25(9):594-595.
38. Hauck, B.W. (1981). Control of process variables in extrusion cooking. *Cereal Foods World* 26(4):170-173.
39. Hernández, M.; Vega, A. y Sotelo, A. (1981). Nutritional evaluation of cereal-cheese whey mixtures. *J. Food Sci.* 47(1): 81-83.
40. Horn, E.R. y Bronikowski, J. (1979). Economics of extrusion processing. *Cereal Foods World* 24(4):140-141, 144-145.
41. Hurrell, R.F. y Carpenter, K.J. (1977). Nutritional significance of cross-link formation during food processing, en *Adv. Exp. Med. Biol.*, 86:225.

42. Hurrell, R.F. y Carpenter, K.J. (1981). The estimation of available lysine in foodstuffs after Maillard reactions. En: Progress in food and nutrition science, 5:159-176, C. Erikson (Editor). Pergamon Press.
43. Ibar, A.L. (1984). El sorgo. Cultivo y aprovechamiento. Primera edición. Editia Mexicana, S.A.
44. Illescas, R. (1943). La teoría química de la formación del nixtamal. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 4(3-4):129-134.
45. Inglett, G.E. (1970). Corn: Culture, Processing, Products. AVI Publishing Co., Inc., Westport, Conn. p. 123-137.
46. Inglett, G.E. y Charalambous, G. (1979) (Eds.). Tropical Foods: Chemistry and Nutrition. Academic Press, Inc. New York 1:217-237.
47. 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.
48. Khan, M.N.; Rooney, L.W.; Rosenow, D.T. y Miller, F.R. (1980). Sorghums with improved tortilla making characteristics. J. Food Sci. 45(3):720.
49. Kim, J.C. y Rottier, W. (1980). Modification of Aestivum wheat semolina by extrusion. Cereal Foods W. 24(2):62-66.
50. Kodicek, E. (1960). Brit. J. Nutr. 14:13-24.
51. Kodicek, E. (1962). Nutritio Dieta 4:109.
52. Laso, F. y Núñez, V. (1977). Patentes Nos. 101287 y 101288. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Departamento de Patentes y Marcas. México. Diciembre 20.
53. Laso, F. y Núñez, V. (1980). Estudio de la factibilidad para la producción de harina de maiz y endospermo integral de sorgo nixtamalizados. Reporte Interno. Industrias CONASUPO. Méx.

54. 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 y Sistema Alimentario Mexicano. México, Julio 28-30.
55. Lorenz, K.; Welsh, J.; Normann, R.; Beetner, G. y Frey, A. (1974). Extrusion processing of triticale. *J. Food Sci.* 39: 572-576.
56. MacLean, W.C.; de Romana, L.; Flacko, R.P.; Graham, G.C. (1981). *J. Nutr.* 111:1928-1938.
57. Mercier, G.; Charbonniere, R.; Grabant, J. y de la Gueriviere, J.F. (1980). Formation of amylose-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch. *Cereal Chem.* 57(1):4-9.
58. Mertz, E.T.; Lloyd, N.E. y Bressani, R. (1958). Studies on corn proteins. II. Electrophoretic analysis of germ and endosperm extracts. *Cereal Chem.* 35:146-155.
59. 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.
60. Mertz, E.T.; Nelson, O.E.; Bates, L.S. y Vernon, O.A. (1966). Better protein quality in maize. *Adven. Chem. Ser.*, 57:228-242.
61. 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.
62. Nieto, Z. (1984). Reporte de resultados obtenidos de la evaluación de la calidad de la proteína del sorgo perlado deno-

- minado Kisel-Ha. Reporte Interno. Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial y Fac. de Química, UNAM. México
63. Nieto, Z.; Durán de Bazúa, C.; Laso, F. y Núñez, V. (1986). Calidad molinera de mezclas de maíz y sorgos perlado e integral. *Tecnol. Aliment. (Méx.)* 21(2):17-21.
  64. Osborne, T.B.; Mendel, L.B. y Ferry (1919). A method of expressing numerically the growth promotion value of proteins. *J. Biol. Chem.* 37:223.
  65. Osborne, T.B. (1924). *The vegetable proteins*. Longmans Green and Co., London.
  66. Pomeranz, Y. y Munck, L. (1981) (Eds.). *Cereals: A renewable resource*. The American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota. p. 395-426.
  67. 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.
  68. Rizley, N.F. y Suter, D.A. (1977). Sorghum tortillas: Process and products attributes. *J. Food Sci.* 42(6):1435.
  69. 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.
  70. Rogers, Q.R. y Harper, A.E. (1965). Amino acid diets and maximal growth in the rat. *J. Nutr.* 87:267-273.
  71. Rossen, J.L. y Miller, R.C. (1973). Food Extrusion. *Food Technol.* 27:46-53 (Agosto).
  72. Rusnak, B.A.; Chou, C.; Rooney, L.W. y Sullins, R.D. (1980). Effects of micronizing on processing properties of sorghum varieties with different endosperm type. *J. Food Sci.* 45: 1529-1532.

73. Sahagún, Fr. B. de (1529-1590). Historia General de las Cosas de la Nueva España. Edit. P. Robredo, Méx. (Pub. en 1938).
74. Samond, K.W. y Hegsted, D.M. (1976). A collaborative study to evaluate four methods of estimating protein quality: Protein efficiency ratio, net protein ratio, nutritive value, y relative nutritive value. IN NAS/NRC. Evaluation of Protein Quality. Rev. Publ. No. 1100. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
75. Sanderson, J.; Wall, J.S.; Donaldson, G.L. y Cavins, J.F. (1978). Effect of alkaline processing of corn on its amino acids. Cereal Chem. 55:204-213.
76. Schurch, A.F.; Loyd, L.E. y Crompton, E.W. (1950). The use of chromic oxide as an index for determining the digestibility of the diet. J. Nutr. 41:629.
77. Smith, O.B. (1976). Why extrusion cooking. Cereal Foods World 21(4):4-8.
78. Sternberg, M.; Kim, C.Y. y Schwende, F.J. (1975). Lysinoalanine: Presence in foods and food ingredients. Science, 190: 992-993.
79. Strumeyer, D.H. y Malin, M.J. (1975). Condensed tannins in grain sorghum: Isolation, fractionation, and characterization. J. Agric. Food Chem. 23:909.
80. Tamir, M. y Alumot, E. (1969). Inhibition of digestive enzymes by condensed tannins from green and ripe carbos. J. Sci. Food Agric. 20:199.
81. Virupaksha, T.K. y Sastry, L.V. (1968). Study on the protein content and amino acid composition of grain sorghum. J. Agric. Food Chem. 16:199.
82. Wall, J.S. y Ross, W.M. (1970). Sorghum production and utili-

- zation. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Conn.
83. Watson, S.A. (1967). Manufacture of corn and milo starches. *En Starch: Chemistry and Technology*, R.L. Whistler, y E.F. Paschall (Eds.). Academic Press, New York.
84. Wellhausen, E.J.; Roberts, L.M.; Hernández, X.E. y Mangelsdorf, P.C. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Programa de Agricultura Cooperativa de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México, D.F. y la Fundación Rockefeller. p. 5-50.
85. Woodard, J.C. y Short, D.D. (1973). Short, toxicity of alkali-treated soy proteins in rats. *J. Nutr.* 103:569.

Nota de la autora:

Las referencias bibliográficas siguientes: Acosta y col., 1982; Anon, 1964; Balavady y col., 1967; Bazúa y col., 1978; Betanzos, 1970; 1974; Cravioto y Cervantes, 1965; Cravioto y col., 1950; Del Valle, 1972; Durán, 1978; 1984; Durán y Venado, 1977; Gopalan, 1970; Harper, 1979; Hurrell y Carpenter, 1981; Kim y Rotier, 1980; Kodicek, 1960; 1962; Laso y Núñez, 1977; 1980; 1982; Lorenz y col., 1974; MacLean y col., 1981; Mercier y col., 1980; Mertz y col., 1964; Mertz y col., 1966; Nieto, 1984; Osborne y col., 1919; Osborne, 1924; Rodríguez y Ruano, 1977; Sahagún (1529-1590) pub. en 1938; Samond y Hegsted, 1976; Sternberg y col., 1975; Strumeyer y Malin, 1975; Tamir y Alumot, 1969; Virupaksha y Sastry, 1968; Watson, 1967; Wellhausen y col., 1951; Woodard y Short, 1973 fueron tomadas de otras referencias que también se encuentran citadas en este trabajo.

## VIII. APENDICE A

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

Cálculos: Calcular el porcentaje de humedad, reportándola como pérdida por secado a  $130^{\circ}\text{C}$ .

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

donde:

A = Peso del pesafiltro + muestra

B = Peso del pesafiltro + muestra después de secar a la estufa

M = Peso de la 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, deseca-

dor, estufa y balanza analítica.

Procedimiento: Pesar con precisión 5 g de la muestra en el crisol previamente pesado después de calcinarlo 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:

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

### PROTEINA 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 ác. 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 amoníaco que se destila y se recibe en un volumen conocido de ácido valorado. Por titulación del ácido no neutralizado se calcula la cantidad de amoníaco desprendido y así, la cantidad de nitrógeno de la muestra. El porcentaje de nitrógeno multiplicado por el factor 6.25 nos da 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% e indicador rojo de metilo.

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 NaOH al 50% que también ha sido enfriado sobre hielo. La adición de sosa debe hacerse de manera que ésta resbale 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 HCl 0.1 N, contenidos en un matraz erlenmeyer de 500 ml y adicionados de tres gotas de indicador rojo de metilo. Antes de la destilación es necesario verificar el ajuste perfecto 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 ebulli-

ción al inicio de ésta con agitaciones ocasionales. Destilar aproximadamente 200 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 el exceso de ácido con solución valorada de NaOH 0.1 N hasta vire amarillo del indicador.

Corregir mediante una determinación en blanco de los reactivos usados empleando la misma cantidad de papel.

Cálculos:

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

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

GRASA CRUDA O 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 3 partes: un extractor, un matraz y un refrigerante unidos por juntas esmeriladas; cartucho, balanza analítica, estufa, pinzas y desecador.

Reactivos: Éter de petróleo.

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 co

necta el matraz al extractor y éste al refrigerante (sin utilizar grasa en las juntas). Se agrega el éter por el refrigerante en cantidad de 2 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 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., enfriar y pesar.

Cálculos:

$$\% \text{ Grasa cruda} = \frac{\left( \begin{array}{r} \text{Peso del matraz} \\ + \text{extracto} \end{array} - \begin{array}{r} \text{Peso del matraz} \\ \text{vacío} \end{array} \right)}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

FIBRA CRUDA

La fibra cruda representa a todos los carbohidratos que no son asimilables por el organismo humano como son la celulosa, hemicelulosa, etc. y que además resisten los tratamientos con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y NaOH al 1.25% hirvientes.

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

Reactivos:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 1.25% hirviente. Calentar de inmediato (debe empezarse a hervir antes de 1 min.), reflujar durante 30 min., ro-

tando 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 de reacción al rojo de metilo. El residuo en el filtro se pasa con espátula al vaso digester ya limpio y se repite la operación con sol. hirviendo de NaOH al 1.25%. 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% hirviendo y con 3 porciones de 50 ml de agua destilada caliente, comprobar que el filtrado no de reacción alcalina. Pasar cuantitativamente el residuo a un vaso de precipitado 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  $130 \pm 2^\circ C$  durante 2 h, enfriar y pesar. Llevar a la mufla y calcinar a  $600^\circ C$  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 sol. de  $H_2SO_4$  al 1.25% durante 30 min., se filtra, se lava perfectamente con agua y se hierve con sol. de NaOH al 1.25% durante 30 min., se filtra, se lava una vez con sol. 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  $130^\circ C$  con la muestra

B = Peso del gooch después de calcinar 30 min. a  $600^\circ C$

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

### CARBOHIDRATOS ASIMILABLES

Esta determinación es absolutamente teórica, ya que para obtener este dato se procede de la siguiente forma: Se suman los porcentajes de humedad, cenizas, grasa cruda, proteína cruda y fibra cruda y se le restan a 100, reportándose la diferencia como porcentaje de carbohidratos totales en la muestra.

### DETERMINACION 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 de calcio, por ello el calcio de los cereales que son ricos en ác. fítico y el de la espinaca que es rica en ác. 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 precipitado de 250 ml, filtro de vidrio poroso, kitasato, bureta, mufla y balanza analítica.

Reactivos: HCl conc., HCl (1+4),  $H_2SO_4$  (1+4), sol. saturada de oxalato de amonio, indicador rojo de metilo y sol.  $KMnO_4$  0.05 N.

Procedimiento: Calcinar de 10-50 g de muestra a  $500-550^\circ C$  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 sol. A 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 sol. saturada de oxalato de amonio y unas gotas de indicador, adicionar amoníaco 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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1+4) y calentando hasta ebullición incipiente NO decolore una gota de sol. 0.05 N de KMnO<sub>4</sub>. Lavar perfectamente el matraz kitasato y proceder a la disolución del precipitado con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dil. (10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 250 ml de agua) caliente, titular en caliente con la sol. KMnO<sub>4</sub> 0.05 N hasta coloración rosa permanente.

#### Cálculos:

1 ml de sol. KMnO<sub>4</sub> 0.05 N equivale a 1 mg de calcio, por lo tanto:

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

m = Peso de la muestra en g.

#### DETERMINACION 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 resarcinol o fluoroglucinol, donde el aldehído

do 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 catequinas y leucoantocianidinas.

**Material:** Matraces Erlenmeyer de 50 ml, probetas de 100 ml, pipetas volumétricas de 1 y 5 ml, vasos de precipitado 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 la 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 500 nm 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 3000 x G durante 10 min. Tomar dos alícuotas de 1 ml de sobrenadante colocándolas en tubos de ensayo, 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

#### DIGESTIBILIDAD "IN VITRO" DE UNA PROTEINA

La digestión es el proceso de descomposición de alimentos complejos en sus formas más simples. Las proteínas se hidrolizan en una serie de compuestos intermediarios hasta llegar a los aminoácidos.

En el estómago empieza la digestión de las proteínas por acción de la pepsina con ácido clorhídrico diluido. Las proteínas se descomponen en peptonas solubles.

Material: Vasos de precipitado de 600 ml, probeta de 500 ml, pipeta de 10 ml, incubadora, balanza analítica, tubos de centrifuga, embudo de tallo corto y papel filtro.

**Procedimiento:** En un vaso de precipitados de 600 ml colocar 1 g de la proteína problema y digerirla de la siguiente manera: añadirle 430 ml de agua, 0.5 g de pepsina y 16 ml de HCl al 10%, agitar perfectamente y colocar el vaso en una estufa a 38-40°C durante 16 h, agitando de vez en cuando. Transcurrido este tiempo añadirle 11 ml de HCl al 10%, agitar y dejar a la misma temperatura durante 8 h más, pasadas las cuales se añaden otros 11 ml de HCl al 10%, agitar y dejar nuevamente en la estufa durante 16 h; transcurridas éstas añadir 11 ml de HCl al 10%, agitar y dejar por último durante 8 h a 38-40°C. Pasadas las últimas 8 h dejar enfriar el vaso y su contenido; filtrar, lavar con agua caliente el vaso y el residuo en el filtro.

Determinar las proteínas del residuo y las proteínas totales de la muestra problema por macrokjeldahl.

**Cálculos:**

$$\% \text{ Digestibilidad "in vitro" de la proteína} = \frac{(\% \text{ Prot. totales} - \% \text{ Prot. no digeridas}) 100}{\% \text{ Prot. totales}}$$

**DETERMINACIÓN DE OXIDO CROMICO EN DIETAS Y EN HECEs**

**Material:** Matraces microkjeldahl, parrilla de calentamiento, pipetas de 5 ml, matraces aforados de 25 ml y 100 ml, tubos de ensaye, espectrofotómetro y balanza analítica.

**Reactivos:** HNO<sub>3</sub> conc., mezcla digestora y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.1 M.

**Preparación de la mezcla digestora:** Disolver 2 g de molibdato de sodio en 30 ml de agua, añadir lentamente 30 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc. con enfriamiento constante en un baño de hielo, cuando se haya enfriado añadir 40 ml de HClO<sub>4</sub> (ác. perclórico) al 70%. Almacenar la solución en un frasco ámbar no más de dos semanas.

**Procedimiento:** Pesar 15 mg de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  para la solución estándar; 150 mg de heces de las dietas de maíz, sorgos y mezclas maíz-sorgos; 100 mg de heces de las dietas de caseína y 1 g de las dietas. Colocar las muestras en matraces microkjeldahl (por cada muestra hacer un duplicado), agregar 2 ml de  $\text{HNO}_3$  conc. (solamente en dietas agregar 3 ml). Digerir hasta que se hayan eliminado todos los gases de nitrógeno, hasta sequedad total. Enfriar y agregar para heces y para dietas, 3 y 5 ml de la mezcla digestora respectivamente. Poner en el digestor a mediana temperatura y esperar a que el color verde del óxido crómico pase a color naranja (dicromato). Esperar 20 min. de ebullición. Enfriar y aforar a 100 ml con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1.1 M únicamente para la solución estándar, para las muestras de heces y dietas aforar a 25 ml con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1.1 M. Leer a 440 nm contra un blanco de agua.

**Cálculos:**

$$\% \text{Cr}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Abs. muestra}}{\text{Abs. estándar}} \times \frac{15 \text{ mg } \text{Cr}_2\text{O}_3}{100 \text{ ml}} \times \frac{25 \text{ ml}}{\text{mg muestra}} \times 100$$

## IX. APENDICE B

Cuadro 22. Composición de la mezcla vitamínica (Teklad Test Diet, Madison, WI)

| Vitaminas                                  | Cantidad |                |
|--|----------|----------------|
| Ac. p-amino benzoico                       | 110.229  | mg/Kg de dieta |
| Ac. ascórbico                              | 1017.520 | "              |
| Biotina                                    | 0.441    | "              |
| Pantotenato de calcio                      | 66.137   | "              |
| Vitamina B <sub>12</sub> (0.1% en manitol) | 29.762   | "              |
| Citrato de colina                          | 3715.123 | "              |
| Ac. fólico                                 | 1.984    | "              |
| l-inositol                                 | 110.229  | "              |
| Menadiona                                  | 49.603   | "              |
| Ac. nicotínico                             | 99.206   | "              |
| Clorhidrato de piridoxina                  | 22.045   | "              |
| Riboflavina                                | 22.045   | "              |
| Clorhidrato de tiamina                     | 22.045   | "              |
| Vit. A seca (500,000 u/g)                  | 1984.1   | U.I.           |
| Vit. D seca (500,000 u/g)                  | 220.4    | "              |
| Acetato de vitamina E                      | 12.12    | "              |

Cuadro 23. Mezcla de minerales Rogers-Harper (1965).

| Minerales   | g/100 g de<br>la mezcla | g/Kg de la<br>dieta * |
|---|-------------------------|-----------------------|
| $\text{CaCO}_3$   | 29.29                   | 11.716                |
| $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                            | 0.43                    | 0.172                 |
| $\text{KH}_2\text{PO}_4$  | 34.31                   | 13.724                |
| $\text{NaCl}$   | 25.06                   | 10.024                |
| $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$                             | 9.98                    | 3.992                 |
| $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5\text{O}_7) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 0.623                   | 0.249                 |
| $\text{CuSO}_4$   | 0.156                   | 0.062                 |
| $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$                              | 0.121                   | 0.048                 |
| $\text{ZnCl}_2$   | 0.020                   | 0.008                 |
| $\text{KI}$   | 0.0005                  | 0.0002                |
| $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   | 0.0025                  | 0.001                 |
| $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$                   | 0.0015                  | 0.0006                |

\* La mezcla de sales cuando se adiciona a un 4% en peso de la dieta proporciona estas cantidades.

RELACION DE EFICIENCIA PROTEICA (REP)Datos y cálculos

Los datos que se registraron durante el experimento fueron el peso del alimento consumido y el peso de los animales en forma individual.

Al finalizar la prueba biológica, se calculó también en forma individual la REP experimental, lo que permitió poder obtener después el promedio con aquéllos datos que fueron promediabiles.

La REP experimental de cada dieta se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{REP (exp.)} = \frac{\text{Peso ganado en g}}{\text{Proteína ingerida en g}}$$

Además fue conveniente obtener el valor de REP ajustado para poder comparar los resultados experimentales con los reportados en la literatura:

$$\text{REP ajustado} = \text{REP (exp.)} \times \frac{\text{REP caseína (referencia)}}{\text{REP caseína (experimental)}}$$

El valor de REP de referencia de la caseína es de 2.5

DIGESTIBILIDAD APARENTE (DA) USANDO  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  COMO MARCADOR EN LAS DIETAS

La recuperación del  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  se hizo a través de la recolección de heces 5 días antes de finalizar el experimento.

Se mezclaron todas las heces de las 8 ratas de cada lote y se extendieron en una charola de aluminio sometiénolas a un proceso de secado a  $100^\circ\text{C}$  por 24 h. Se molieron en un mortero y se tamizaron a una malla 40. La cuantificación del  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  se efectuó tanto en dietas como en heces mediante una determinación colorimétrica a 440 nm usando como valor estándar la absorbancia obtenida en 15 mg de óxido crómico (ver Apéndice A).

Posteriormente con los datos de %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y % Nitrógeno en dietas y en heces se calculó el % de Digestibilidad de la proteína de cada dieta con la ecuación de Edwards y Gillis (1959):

$$\% \text{ Digestibilidad de proteínas} = 100 - \left( 100 \times \frac{\% \text{ N heces}}{\% \text{ Cr}_2\text{O}_3 \text{ heces}} \times \frac{\% \text{ Cr}_2\text{O}_3 \text{ dieta}}{\% \text{ N dieta}} \right)$$

Preparación del Pan de Cromo:

Se mezclan 30 g de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  con 70 g de almidón y 40 ml de agua destilada. La masa se extiende en una hoja de aluminio y se seca a  $90^\circ\text{C}$  durante 8 h. El pan de cromo ya seco se muele y tamiza a través de una malla No. 40. Guardar en un frasco perfectamente limpio y seco.