

T67-004

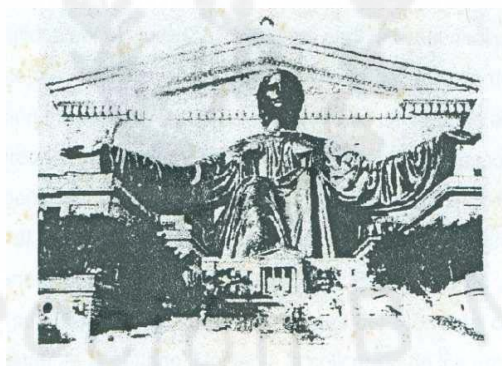
UNIVERSIDAD DE LA HABANA
INSTITUTO DE FARMACIA Y ALIMENTOS
Departamento de Alimentos

Trabajo para la opción del grado de Dr. en Ciencias de los Alimentos

**Potencialidad de la variedad
de sorgo ISIAP-DORADO
en la alimentación humana**

Autor: MC. Luís Miguel Hernández Luna

Tutor: Dr. Luís Ledesma Rivero



Ciudad de La Habana, CUBA

2003

SÍNTESIS.

En el presente trabajo se estudiaron diferentes posibilidades alimentarias de la variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO, como grano integral, perlado, precocido-perlado y en forma de harina o almidón, con vistas a fundamentar la extensión de su cultivo a mayor escala. Esto permitiría su utilización directa como alimento o materia prima para la industria de los alimentos en Cuba.

Se comprobó que las características físico-químicas del grano integral de esta variedad cumplen con los requisitos establecidos por la comisión de Codex para las variedades comerciales de sorgo granífero. Este grano también mostró porcentajes similares de proteínas, grasas, carbohidratos y cenizas a otras variedades cultivadas en diferentes países.

La variedad en estudio presentó mayor proporción de fibra dietética insoluble a lo señalado en la literatura. Los niveles de calcio y cobre fueron comparables a los informados para otras variedades de sorgo, mientras sus contenidos en tiamina, riboflavina y niacina fueron análogos a los referidos para otros granos como el maíz y el arroz. La cuantificación aminoacídica denotó niveles de lisina e isoleucina inferiores al valor medio informado para estos aminoácidos en otras variedades de sorgos. Se confirmó el carácter limitante de la lisina en este cereal. El contenido de taninos se encuentra dentro de los valores permitidos por el Codex Alimentarius para las variedades blancas de sorgo. Los resultados generales de la evaluación del proceso de perlado demuestran que los grados de elaboración más idóneos para esta variedad se encuentran entre 27.9 y 29.9 %. En el proceso de precocción aplicado, se encontró que los rendimientos en el perlado se afectaron positivamente con el tiempo de remojo aplicado, no así con la temperatura de secado. Mientras, el incremento del volumen en la cocción del grano precocido fue influenciado de manera positiva por ambas variables. El proceso de precocido aumentó significativamente ($p < 0.05$) el contenido en nutrientes del grano en comparación con el cereal sometido solamente al perlado. Mediante la aplicación de los procesos de perlado y precocido, se disminuyen las proporciones de taninos en los granos.

Se realizó un proceso de molienda húmeda para la producción de almidón, obteniéndose rendimientos de producto seco pulverizado superiores al 50 %. Este almidón presentó contenidos del 20 % en amilosa, 0.45% de cenizas y 0.72% de proteínas. Las

Síntesis

características visco-amilográficas evaluadas en el almidón de sorgo a través del barrido térmico diferencial y de cizallamiento estacionario y oscilatorio fueron típicas de este polisacárido, demostrándose su carácter no newtoniano, tixotrópico y adelgazante.

Se demostró que cuando se aumenta la sustitución de harina de trigo por la de sorgo en niveles superiores al 10 %, se afectan las características reológicas de las mezclas, además la harina de sorgo aporta bajos niveles de enzimas amilásicas. En lo referente a la utilización de esta harina en productos horneados como extensor de la harina de trigo, se obtuvo una buena aceptación por los consumidores en la evaluación de pan de corteza suave con un 10 % de sustitución y en galletas de sal y dulce hasta el 20 %.

A partir del sorgo perlado cocido se elaboraron diferentes productos enlatados con buena aceptación por los consumidores, demostrándose que al igual que el arroz es posible utilizar este grano para consumo directo.

Se sustituyó totalmente el almidón de maíz por el obtenido con sorgo, en la elaboración de panetela fina, lográndose una buena aceptación del producto por los consumidores potenciales.

Del análisis económico preliminar realizado sobre los resultados de la aplicación alimentaria del sorgo en los productos desarrollados, se debe destacar que este cereal puede aportar ahorros de divisas al país, al sustituir la harina de trigo en la elaboración de diferentes productos horneados como pan, galletas y dulce. Además, como materia prima, puede reemplazar al grano de maíz en la producción de almidón y también ser consumido como cereal directo, con ventajas económicas. El presente trabajo en su conjunto, muestra diferentes posibilidades de introducción de esta variedad cubana de sorgo en la alimentación humana, lo cual permitiría justificar el incremento de su producción agrícola en Cuba.

INDICE

CONTENIDO:

Página

Síntesis.

Introducción.

1

Capítulo 1. Revisión Bibliográfica.

5

1.1 Origen y clasificación del sorgo.

5

1.2 Características botánicas y medioambientales de la planta del sorgo.

6

1.3 La variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO.

7

1.4 Estructura y propiedades físicas del grano de sorgo.

8

1.5 Composición química y el valor nutritivo del grano de sorgo.

10

1.6 El grano de sorgo comparado con los tres cereales más importantes.

17

1.7 Los taninos como principal compuesto modificador del valor nutricional. del grano de sorgo.

17

1.8 Aspectos sobre el procesamiento tecnológico del grano de sorgo y sus aplicaciones en los alimentos.

19

1.8. 1 Las aplicaciones alimentarias del sorgo.

22

1.9 La producción mundial y aspectos económicos del sorgo.

25

1.9.1 Consideraciones económicas del grano de sorgo.

26

1.9.2 La situación del cultivo de sorgo en Cuba.

27

PARTE EXPERIMENTAL.

Capítulo 2. Materiales v Métodos.

29

2.1 Esquema de trabajo.

29

2.2 Caracterización del sorgo integral variedad ISIAP-DORADO.

29

2.2.1 Caracterización física del grano de sorgo integral.

29

2.2.2 Determinación de la composición centesimal y el valor energético, del sorgo integral.

30

2.2.3 Determinación de taninos.	30
2.2.4 Valor nutricional del grano.	31
2.2.4.1 Determinación del contenido de algunas vitaminas del complejo B.	31
2.2.4.2 Determinación del contenido de minerales.	31
2.2.4.3 Determinación del contenido de fibra dietética.	31
2.2.4.4 Evaluación de la calidad proteica.	31
2.3 Procesos tecnológicos.	32
2.3.1 Proceso de perlado al grano de sorgo integral.	32
2.3.2 Proceso de precocido al grano de sorgo integral.	34
2.3.3 Obtención y caracterización de almidón de sorgo.	36
2.3.3.1 Obtención del almidón.	37
2.3.3.2 Caracterización química y reológica del almidón de sorgo.	37
2.3.4 Elaboración y evaluación de galletas de sal.	39
2.4 Elaboración de alimentos.	39
2.4.1 Preparación de las mezclas de harinas trigo-sorgo en la elaboración de productos horneados.	39
2.4.1.1 Obtención de la harina de sorgo.	39
2.4.1.2 Características Teológicas de las mezclas de harinas trigo-sorgo.	40
2.4.1.3 Elaboración y evaluación de pan de corteza suave.	41
2.4.1.4 Elaboración y evaluación de galletas de sal.	43
2.4.1.5 Elaboración y evaluación de un producto horneado dulce (tortica).	44
2.4.2 Desarrollo de productos enlatados a partir del grano de sorgo perlado.	46
2.4.3 Aplicación alimentaria del almidón de sorgo.	48
2.5 Análisis económico preliminar del sorgo como sustituto de otros cereales en los productos desarrollados.	49
2.6 Tratamiento matemático a los resultados obtenidos.	49

DISCUSIÓN GENERAL.

Capítulo 3. Resultados v Discusión.	51
3.1 Caracterización físico-química del grano de sorgo integral de la variedad de sorgo ISIAP-DORADO.	51

3.2 Contenido de taninos y valor nutricional del grano integral de sorgo de la variedad cubana ISIAP-DORADO.	52
3.2.1 Calidad proteica.	55
3.3 Proceso de perlado del grano integral.	57
3.4 Proceso de precocido del grano integral.	60
3.5 Efecto del perlado y precocido-perlado sobre el contenido de taninos y algunos nutrientes del grano.	63
3.6 Obtención y caracterización físico-química y reológica del almidón de sorgo.	65
3.6.1 Análisis térmico diferencial de barrido.	67
3.6.2 Pruebas de cizallamiento estacionario y oscilatorio.	68
3.7 Utilización de la harina de sorgo en la elaboración de productos horneados.	70
3.7.1 Evaluación reológica de las mezclas de harinas trigo-sorgo.	70
3.7.2 Elaboración y evaluación de pan de corteza suave.	72
3.7.3 Elaboración y evaluación de galletas de sal.	73
3.7.4 Elaboración y evaluación de un dulce (tortica).	74
3.8 Productos enlatados a partir del grano de sorgo perlado.	75
3.9 Aplicación del almidón de sorgo en un producto alimenticio.	76
3.10 Análisis económico preliminar de los productos desarrollados.	76
Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones.	78
4.1 Conclusiones.	78
4.2 Recomendaciones.	80
Referencias Bibliográficas.	81
Anexos.	

INTRODUCCIÓN.

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es un cereal cultivado en diferentes regiones del mundo, debido a la poca exigencia con respecto a las condiciones de los suelos, sus necesidades como planta para el crecimiento y desarrollo, su alta resistencia a la sequía y corto ciclo productivo (Bellido, 1991).

La producción mundial de este cereal ocupa el quinto lugar después del trigo, el arroz, el maíz y la cebada (FAO, 1997). El sorgo es fuente de alimento en muchos países del continente africano y de Asia, formando parte de la dieta de millones de sus habitantes. Las variedades con baja coloración en sus envolturas son las más adecuadas para ser empleadas como alimento humano, pues entre otras ventajas presentan menor contenido de taninos y brindan una mejor asimilación del grano (Axtell y col., 1981).

En los países africanos, el sorgo se consume mediante la elaboración de diferentes alimentos artesanales como son: el pan plano, preparado con masas fermentadas o no, las gachas fermentadas, productos cocidos similares a los que se preparan directamente como el arroz y las sémolas de maíz y preparados fritos cocinados en aceite entre otros (FAO, 1995a). El uso del sorgo como alimento no se limita solamente al hemisferio oriental, se conoce que en algunas zonas de América Central y México se come de diferentes maneras, entre las cuales se encuentran las tortillas y los preparados de atoles. En Haití, se ha utilizado de manera extensiva como semolinas para la preparación de alimentos cocidos al fuego (Rooney y col., 1986). También el sorgo, se cultiva en el resto de América y Europa, pero en estas áreas se destina en mayor cuantía para la alimentación animal en competencia con el maíz, que presenta una composición química muy semejante.

En la rama alimentaria se conoce la potencialidad del sorgo como alimento humano. A pesar de esto, actualmente son pocos los productos con sorgo procesados tecnológicamente a escala mundial como existen para otros cereales tales como el trigo, el arroz y el maíz, pues el sorgo continúa constituyendo un cereal tercermundista.

Estudios recientes realizados en la Comunidad Europea y en Estados Unidos, consideran al sorgo como "la planta del futuro", por la diversidad de usos que ofrecen sus granos y la masa verde de su planta (Maunder, 2002). Según la FAO, (1997), las perspectivas de cosecha del grano hasta el año 2005 son favorables, ya que se estima que la producción

mundial crecerá en un 1.2 % cada año, y se espera que su consumo como alimento humano se eleve a un 15 %. Sin embargo, las pautas de su utilización no cambiarán, se seguirá consumiendo por millones de habitantes en Asia y África principalmente y como fuente de alimentación animal en el resto del mundo.

En Cuba no existe hábito de consumo de este cereal, ni se cultiva de manera extensiva para la alimentación. No obstante, se han llevado a cabo estudios agrícolas de extensión y se cuenta con variedades blancas de sorgo aptas para el consumo como la UDG-110 (Martín y col., 1993) y la ISIAP-DORADO (Oramas, 1997). Recientemente en diferentes regiones de Cuba se ha comenzado a cultivar el sorgo de la variedad blanca ISIAP- DORADO para la alimentación animal, en pequeñas áreas de tierras (8 a 10 caballerías) destinadas al cultivo del arroz (Canet y col., 2002).

A pesar de haberse realizado diversas investigaciones en el área agrícola, hasta la fecha no se han informado en Cuba trabajos científicos que estudien las variedades obtenidas en el ámbito de la ciencia y tecnología de los alimentos, como tampoco se han desarrollado productos alimenticios a partir del grano o sus derivados.

El grano de sorgo puede ser sometido a diferentes procedimientos tecnológicos, con la intención de aumentar su grado de refinación y su calidad como alimento. Entre estas tecnologías se encuentran los procesos de perlado, obtención de harina y almidón (Anglani, 1999).

Con el proceso de perlado se eliminan las capas externas o envolturas de la cariósida y el germen, y mediante el grado de elaboración aplicado, los granos adquieren un mayor grado de refinación y uniformidad en cuanto a su coloración, haciéndolos más agradables para el consumo humano (Jambunathan y Subramanian, 1988). Se ha informado que en dependencia de la coloración del pericarpio y la dureza del endospermo que presentan las diferentes variedades de sorgo, así será el grado de elaboración requerido por el grano (Freeman y Watson, 1977). Con la aplicación de este proceso se evita la pulverización de las capas externas del grano y el germen, cuando se requieren en la elaboración de harinas, reduciendo la contaminación en cenizas, lo cual permite obtener una mejor calidad en este producto (Pertin, 1983). De igual modo, con el perlado de los granos se disminuye el enturbamiento de bebidas fermentadas, se incrementa la calidad de cocción y aumenta su digestibilidad, aspectos deseables cuando el cereal se destina como alimento para el ser humano.

Por otra parte, la posible aplicación de la tecnología de precocido al sorgo, al igual que se realiza con el arroz pudiera brindar la posibilidad de aumentar su valor nutricional y los rendimientos industriales durante el proceso de perlado.

El endospermo del grano integral también puede utilizarse como materia prima en la producción de almidón, por medio de la aplicación del proceso de molienda húmeda al igual que se hace con otros cereales. El almidón obtenido a partir del sorgo puede tener usos alimentarios directos o transformarse, en productos derivados como jarabes glucosados y fructosados, entre otras aplicaciones (Serna-Saldivar, 1998 y Kulp y Ponte, 2000).

Teniendo en cuenta, lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tiene como **hipótesis**:

- El sorgo de la variedad blanca cubana ISIAP-DORADO, por sus cualidades físico- químicas, nutricionales y aptitudes tecnológicas puede utilizarse en la elaboración de alimentos con buena aceptación por la población.

Siendo el **objetivo general** del trabajo:

- Evaluar las principales características del grano de sorgo integral, perlado, precocido-perlado, su harina y almidón, con vistas a demostrar su potencialidad para la elaboración de alimentos.

Con el cumplimiento de este objetivo general, no solo se aprueba o rechaza la hipótesis planteada, sino que además se fundamentaría la necesidad de incrementar o no, el cultivo de esta variedad en un futuro.

Por tanto, para el desarrollo del trabajo se establecieron los **objetivos específicos** que a continuación se enuncian:

- Evaluar las principales características físico-químicas y nutricionales del grano de sorgo integral de la variedad blanca cubana ISIAP-DORADO.
- Seleccionar el mejor grado de elaboración del grano en el proceso de perlado y establecer las condiciones para el proceso de precocido-perlado aplicado al grano integral.
- Determinar el contenido de taninos y valorar el efecto de los procesos de perlado y precocido perlado sobre las principales características físico-químicas y nutricionales del grano.

- Evaluar los indicadores físico-químicos y reológicos fundamentales de las mezclas de harina de trigo/sorgo y llevar a cabo su aplicación en la elaboración de diferentes productos horneados.
- Elaborar nuevos productos alimenticios enlatados a partir del sorgo perlado.
- Desarrollar un método eficaz para la obtención de almidón de sorgo y realizar su caracterización físico-química y reológica, así como su aplicación alimentaria.
- Efectuar el análisis económico preliminar a partir de los resultados obtenidos.

La **novedad científica** del trabajo radica, en la evaluación por primera vez de las características físico-químicas, reológicas y nutricionales de la variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO y la demostración de sus posibilidades potenciales para la aplicación de tecnologías como el perlado y la obtención de almidón, tecnologías que mejoran las cualidades de este grano como alimento directo o materia prima para la industria alimentaria. Resulta de gran novedad en el presente trabajo la realización del proceso de precocido-perlado con el sorgo, así como la caracterización químico-física y reológica de su almidón.

La **importancia práctica** de los resultados de esta tesis se encuentra en la argumentación de las variantes alimentarias propuestas que justifiquen acciones concretas para el desarrollo del cultivo del sorgo a mayor escala en Cuba y su destino como cereal para la alimentación humana. Esto representaría, desde el punto de vista económico, una vía futura de ahorro de divisas que el país destina en la compra de cereales en el exterior. En lo social, este cereal pudiera constituir una fuente extensora de la harina de trigo para la producción de pan, galletas u otro producto horneado, o como alimento de consumo directo igual que el arroz. También, el sorgo sería posible emplearse como fuente de materia prima para el desarrollo de otros productos alimenticios utilizando su almidón.

La **importancia científica** de esta tesis está en el hecho de ser uno de los primeros trabajos investigativos de aplicación de una variedad de sorgo nacional en la rama alimentaria en Cuba. La caracterización físico-química y nutricional, los productos alimenticios desarrollados, el establecimiento de las condiciones para los procesos tecnológicos de perlado y precocido-perlado, así como la obtención del almidón, fundamentan la aplicación de este cereal y la continuación de estudios en el campo de la ciencia y tecnología de los alimentos en Cuba.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1 Origen y clasificación del sorgo.

El sorgo tuvo su origen en Abisinia, Etiopía y parece que de esta región, se desplazó hacia el África Oriental muchos años antes de Cristo, donde se conoce que los bantús, habitantes de esa zona geográfica utilizaban el grano como alimento. Esculturas que se hallaron en ruinas asirías hace 700 años a.C., describen al sorgo. Este fue introducido en la India para la alimentación humana, probablemente durante el primer milenio, existiendo un tráfico de embarcaciones durante muchos años entre el África Oriental (costa de Azanea) y ese país a través de la ruta Sabea, al sur de Arabia (FAO, 1995a).

En 1753, Linnaeus describió en su "Species Plantarum", tres especies de plantas de sorgo cultivadas: *Holcus sorghum*, *Holcus saccharatus* y *Holcus bicolor*. Años después, en 1794, Moench distinguió el género *Sorghum*, del género *Holcus*, para más tarde en 1805, Person propusiera el nombre de *Sorghum vulgare* al denominado como *Holcus sorghum* y en 1961 Clayton propuso el nombre de *Sorghum bicolor* (L.) Moench como el nombre correcto del sorgo cultivado, que es el nombre que se utiliza actualmente (FAO, 1995a).

La clasificación botánica más conocida es la realizada por Snowden, (1936) que divide al género en dos secciones, Eusorghum y Parasorghum. La sección Parasorghum agrupa a especies herbáceas silvestres de cinco cromosomas haploides ($n=5$) y la sección Eusorghum se divide en dos subsecciones: Arundinacea ($n=10$), que incluye tanto a variedades cultivadas para grano, forraje y sorgo silvestres, y la Halopensia ($n=20$), que engloba al sorgo de Alepo y a otras especies perennes. La Arundinacea se divide a su vez, en dos series: Espontánea y Sativa, y esta última en seis subseries, que comprenden a treinta y una especies, entre las que se destacan la Bicoloria y Durra. (Bellido, 1991). Otras clasificaciones propuestas desde entonces han consistido en modificaciones o adaptaciones del sistema de Snowden. Investigadores como Harían y De Wet, (1972) publicaron una clasificación simplificada del sorgo verificada con 10000 muestras de

espigas. Ellos dividían el sorgo cultivado en cinco especies básicas: Bicolor, Guinea, Caudatum, Kafir y Durra.

Dentro del grupo clasificado como sorgo granífero, existen variedades consideradas clásicas, que pueden incluirse en distintas variedades típicas de las diversas zonas del mundo, donde se ha cultivado el sorgo desde hace varios milenios. Estas variedades son: Kafir, Kaoling, Shallu, Durra, Feterita, Miloy Hegary (Purseglave, 1972).

El sorgo llegó a América Latina a través del comercio de los esclavos en el siglo XVI, pero su cultivo no adquiere importancia hasta el siglo XX, donde se encuentra integrado a los sistemas agrícolas en la mayoría de los países latinoamericanos, siendo México y Argentina los países en esta región que le han dado mayor importancia a su cultivo (FAO, 1991).

Estados Unidos, es actualmente el mayor productor de sorgo, donde fue introducido por los esclavos negros procedentes del continente africano en los siglos XVIII y XIX, cultivándose primeramente en la costa atlántica. Las áreas de producción de sorgo se extendieron posteriormente por el sudoeste y California, en la primera década del siglo XX, (Poehlman, 1959).

La creación a mediados del siglo XX de variedades híbridas de granos de sorgo más resistentes a las enfermedades e insectos, junto con el mejoramiento de otras prácticas de producción, aumentó considerablemente la utilización de este cereal en los Estados Unidos y en el mundo, pues estas variedades de poca altura ofrecen la posibilidad de su cultivo mecanizado con rendimientos superiores en granos. Ello estableció firmemente al sorgo granífero como un importante cultivo a nivel mundial (Enciclopedia Encarta, 2002 y Maunder, 2002).

1.2 Características botánicas y medioambientales de la planta del sorgo.

La planta del sorgo, figura 1, posee un sistema radicular muy potente y desarrollado, sus raíces fibrosas se adhieren firmemente en el suelo, siendo la anatomía de sus raíces adventicias, típica de las monocotiledóneas (Maiti y col., 1996). El tallo es erguido, con un número de hojas lanceoladas que oscilan entre 5 y 24 y normalmente posee un único tallo proveniente de la semilla. Las hojas son estrechas, con los nervios paralelos y relativamente largos (30-100 cm). Las flores se presentan en inflorescencia tipo panoja o

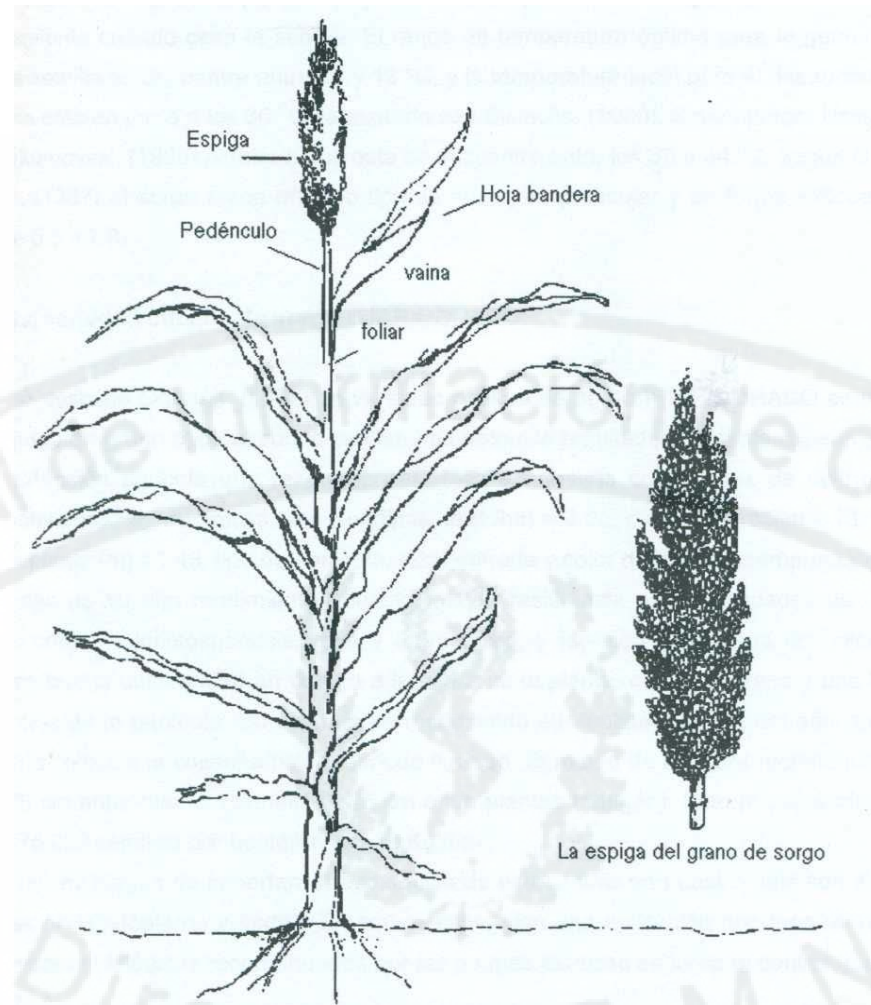


Figura 1. Dibujo representativo de la planta de sorgo.

panícula. Esta planta prefiere suelos poco profundos y bien drenados, aunque se adapta a la mayor parte de los suelos existentes. Resiste muy bien las altas temperaturas y la falta de humedad, siendo capaz de soportar largos períodos sin agua para reiniciar su crecimiento cuando cesa la sequía. El rango de temperatura óptima para la germinación de la semilla se encuentra entre 10 y 13 °C, y la temperatura ideal para el desarrollo de la planta está en torno a los 30 °C de acuerdo con Sistachs, (1980). Sin embargo, Ustimenko y Bakumovski, (1980) plantean que esta se encuentra entre los 33 a 34 °C. Según China y Phul, (1987) el sorgo crece en todo tipo de suelo, en particular y de forma exitosa a pH entre 5.5 y 7.8.

1.3 La variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO.

Como describe Oramas, (1997), la variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO es un tipo de sorgo de grano blanco, con la cual se han obtenido resultados a escala experimental y de extensión agrícola que responde muy bien a nuestras condiciones de cultivo. Sus características agronómicas son: Rendimiento (t /ha) = 3.80, días de floración = 71, altura de la planta (m) =1.48, tipo de panícula, semi-cerrada y color del grano, crema-amarillento. Además de su alto rendimiento, muestra mayor resistencia a enfermedades de campo tales como: helmintosporiosis, roya y antracnosis, y también a la plaga de palomillas. Posee buena uniformidad en cuanto a la altura de la planta, color del grano y una buena ejerción de la panícula. Su siembra se recomienda en cualquier época del año, siempre que no coincida la cosecha con el periodo lluvioso. El marco de siembra recomendado es de 70 cm entre hileras (camellón) y 3 cm entre plantas (narigón). Esto requiere alrededor de 475 000 semillas por hectárea (10-12 Kg /ha).

Las únicas plagas de importancia económica de este cultivo en nuestro país son algunas larvas de lepidópteros y áfidos. En ambos casos con una aplicación oportuna de medios químicos o biológicos recomendados por las normas técnicas se logra el control (Oramas, 1997).

1.4 Estructura y propiedades físicas del grano de sorgo.

Los granos de sorgo son esféricos-ovalados con un diámetro comprendido entre 3 y 6 mm, su color varía desde el blanco hasta tonalidades oscuras de rojo y pardo de acuerdo al contenido en taninos que presente. El rango más común del peso de 1000 granos se encuentra entre los 25 a 30 g en dependencia de la variedad, representando para la alimentación un parámetro importante, pues mientras más pequeño sea el grano, más baja es la relación endospermo-cubierta. El peso promedio por hectolitro del grano se encuentra entre 68.5 a 77.3 Kg/hL, muy parecido a los del trigo y el maíz (FAO, 1995a). Entre los factores que condicionan el tamaño de los granos, se encuentran los caracteres genéticos, las condiciones climáticas y de vegetación donde se desarrolla la planta. El grano está compuesto principalmente por las siguientes partes anatómicas: pericarpio, endospermo y germen. Tiene además una capa de 0.4 mm de espesor como revestimiento de la semilla, igualmente presenta una capa de aleurona. Las partes constituyentes del mismo se ilustran en la figura 2.

El peso promedio del pericarpio en el grano del sorgo es del 6 %, otro 84 % pertenece al endospermo y el restante 10 % corresponde al germen, siendo la proporción entre el endospermo y el germen generalmente igual a 8.4/1.0 en dependencia de la variedad (Hubbard y col., 1950). Otros autores como Rooney y col., (1980) plantearon relaciones muy semejantes expresando valores de peso correspondientes al endospermo entre 80 y 82 %, pero señalaron, que existen variedades con cubiertas de pericarpio muy finas que alcanzan cifras del orden del 86 %. Describen de igual modo niveles del 6 al 8 % de salvados y del 10 al 12 % para el germen.

El endospermo, está compuesto por una parte harinosa y otra cerosa que corresponden al mayor tejido de almacenamiento, además de la capa de aleurona periférica que lo rodea y se localiza inmediatamente debajo del revestimiento de la semilla. Las células de aleurona son abundantes en minerales, vitaminas B, grasas y enzimas hidrolizantes. Cada célula del endospermo, por su parte está compuesta por una pared celular delgada, una matriz proteica, cuerpos proteicos y gránulos de almidón, el tamaño de estos últimos varían de cuatro a cinco micras (Rooney y col., 1980).

Un aspecto de mucha importancia en las propiedades físicas y estructurales del grano estriba en la composición proporcional relativa de proteína y almidón, pues es un factor

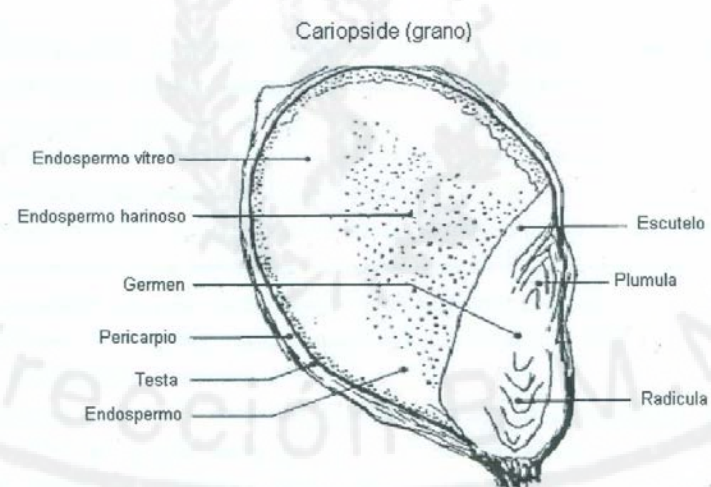


Figura 2. Vista del grano de sorgo y su panoja.

que determina la dureza y densidad del grano. La respectiva proporción de endospermo ceroso y harinoso determina la textura del grano, pudiendo ser esta, completamente vitrea o mezcla vitrea y harinosa. La textura del grano constituye uno de los parámetros más importantes que determina la calidad alimentaria y de elaboración del sorgo. Así, en el grano de textura blanda el endospermo es más harinoso y viceversa (Rooney y col., 1986). Durante el procesamiento del grano, el endospermo harinoso es más fácil desintegrarlo en pequeñas partículas, si se compara con aquel que proviene de un endospermo vitreo (Sullins y Rooney, 1974).

En el endospermo vitreo las sustancias proteicas se encuentran presentes en todas las zonas del grano. Las proteínas tienen una interfase continua entre los gránulos de almidón con cuerpos proteicos embebidos en la matriz. Las proteínas de la matriz son en general del tipo glutelinas, solubles en álcali. La mayor proporción de las proteínas del grano son del tipo prolaminas solubles en alcohol. La porción más externa del endospermo vitreo, llamado endospermo periférico, está compuesta por varias capas de células rectangulares largas y densamente empacadas que contienen grandes cantidades de proteínas y pequeños gránulos de almidón. Debajo del endospermo vitreo o ceroso existen varias capas de células grandes alargadas y vacuoladas, las cuales forman el endospermo harinoso. Existen espacios de aire entre los gránulos de almidón y los cuerpos de proteínas, y como señalan Glueck y Rooney, (1980), los gránulos de almidón son esféricos en su forma y están incluidos en la matriz proteica.

El almidón contenido en estas células no se encuentra disponible fácilmente para la digestión enzimática, a menos que la proteína que lleva asociada también se reduzca (Chandrasheklar y Kirleis, 1988). El número de sustancias proteicas disminuye a medida que aumenta el contenido amiláceo desde la zona periférica al núcleo central donde se halla localizado el endospermo harinoso.

El germen se compone de dos partes principales que son: el eje embrionario y el escutelo, estos representan al igual que en otros granos de cereales, el lugar donde se almacena la mayor cantidad de nutrientes: lípidos, proteínas, vitaminas y minerales para la futura planta. El mismo tiene un contenido en grasas del 30 % aproximadamente y poco menos del 20 % en proteínas, el aceite presente es rico en ácidos grasos polinsaturados y tocoferoles, muy parecido al de maíz (Lamessa y col., 2000). El contenido de aceite del

germen representa el 79 % del total en todo el grano, encontrándose el resto en el pericarpio y la capa de aleurona (Rooney y col., 1980).

1.5 Composición química y el valor nutritivo del grano de sorgo.

Las características de la planta al igual que las condiciones aplicadas al cultivo del sorgo en semejanza con otros cereales, hacen que la composición del grano pueda variar significativamente, debido a factores genéticos y medioambientales. Así, por ejemplo, el empleo de niveles de fertilizantes con altos porcentajes de nitrógeno aplicados a los suelos, aumentan el contenido de proteínas del grano y disminuyen el de almidón, como informaron en sus trabajos Halse y col., (1980); Rooney y col., (1982) y Jambunathan y Subramanian, (1988).

Esta variabilidad anunciada sobre la composición química que presentan los diferentes granos se manifiesta elocuentemente al observar la tabla 1 en la cual se recogen datos de los diferentes genotipos de sorgos realizados en el ICRISAT (Jambunathan y Subramanian, 1988).

La composición química y el valor nutritivo del grano entero y de sus fracciones se muestran en la tabla 2, según datos aportados por Hubbard y col., (1950). Se observa, cómo el salvado del sorgo es bajo en proteína, pero abundante en cenizas y grasas. También, la fracción de germen del sorgo es rica en cenizas, proteínas y grasas, pero muy pobre en almidón. Así, se denota que más del 68% de la materia mineral total del grano y del 75 % de la grasa se hallan localizadas en el germen, que además, por su bajo peso en comparación con en el grano entero, solo aporta el 15 % de la proteína total. El germen también es rico en vitaminas del complejo B. El endospermo, que es la parte mayor del grano, constituye el mayor portador del almidón y de una buena proporción del total de las vitaminas del complejo B.

Para desarrollar el análisis general de la composición típica del grano de sorgo se ilustra la tabla 3, donde se muestra el rango y el valor medio de los diferentes componentes químicos en este cereal y se desglosan en porcentajes las diferentes fracciones que componen las proteínas del grano de sorgo, así como su composición aminoacídica, teniendo como fuente los datos informados por Rooney y col., (1982).

TABLA 1. Composición química de genotipos de sorgo de acuerdo a estudios realizados en ICRISAT.

Granos	Proteína (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Fibra cruda (%)	Almidón (%)	Amilosa (%)	Azúcar soluble (%)	Azúcar reductora (%)
Número de genotipos	10 479	160	160	100	160	80	160	80
Bajo	4,4	2,1	1,3	1,0	55,6	21,2	0,7	0,05
Alto	21,1	7,6	3,3	3,4	75,2	30,2	4,2	0,53
Mediano	11,4	3,3	1,9	1,9	69,5	26,9	1,2	0,12

Fuente: Jambunathan y Subramanian, (1988).

TABLA 2. Contenido de nutrientes del grano entero y de sus partes componentes.

Partes del grano	Peso grano (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Almidón (%)	Niacina (mg/100g)	Riboflavina (mg /100g)	Piridoxina (mg /100g)
Grano entero	100	12.3	1.67	3.6	73.8	4.5	0.13	0.47
Endospermo	82.3	12.3	0.37	0.6	82.5	4.4	0.09	0.40
Germen	9.8	18.9	10.4	28.1	13.4	8.1	0.39	0.72
Salvado	7.9	6.7	2.0	4.9	34.6	4.4	0.40	0.44

Fuente: Hubbard y col., (1950)

TABLA 3. Composición química del grano de sorgo.

Componente	Media	Rango	Número de muestras
Proteínas (N x 6.25) (%)	11.6	8.1-16.8	1463
Extracto de éter (%)	3.4	1.4-6.2	1462
Fibra cruda (%)	2.7	0.4 -7.3	1382
Fibra dietética insoluble (%)	7.2	6.5 -7.9	2
Fibra dietética soluble (%)	1.1	1.0 -1.2	2
Detergente ácido (%)	3.3	2.9-3.6	2
Cenizas (%)	2.2	1.2 - 7.1	1436
Extracto de nitrógeno libre (%)	79.5	65.3-81.0	1372
Fracción proteica			
Prolaminas (%)	52.7	39.3 -72.9	5
Gluteninas (%)	34.4	23.5 -45.0	5
Albúminas (%)	5.7	1.6-9.2	5
Globulinas (%)	7.1	1.9 -10.3	5
Aminoácidos esenciales (q de AA/100 q de proteína)			
Usina	2.1	1.6 -2.6	640
Leucina	14.2	10.2 -15.4	582
Fenilalanina	5.1	3.8-5.5	582
Valina	5.4	0-5.8	582
Triptófano	1.0	0.7 -1.3	92
Metionina	1.0	0.8 -2.0	582
Treonina	3.3	2.4 -3.7	582
Histidina	2.1	1.7-2.3	582
Isoleucina	4.1	2.9-4.8	582

Fuente: Rooney y col., (1982).

Las proteínas.

El grano de sorgo posee un rango de variación bastante amplio con respecto al contenido en proteínas, pero generalmente el valor medio de las diferentes variedades se encuentra alrededor del 10 y el 11 %, en un rango que puede oscilar entre el 8 al 16 %.

Las proteínas presentes en el grano de acuerdo a sus características de solubilidad se clasifican en cuatro fracciones, a saber: la albúmina soluble en agua, la globulina soluble en una solución salina diluida, la prolamina (kafirina) soluble en alcohol, y la glutelina soluble en una solución alcalina o ácida diluida. Las prolaminas comprenden aproximadamente un 50 % de las proteínas totales del grano y se encuentran principalmente en el endospermo. Las gluteninas constituyen la segunda fracción de proteínas después de las prolaminas y son las más difíciles de extraer. Aisladas después de haber sido solubilizadas en álcali diluido o soluciones ácidas diluidas, se obtiene una mejor fracción cuando se utiliza mercapto-etanol para romper los enlaces de sulfuros, estas proteínas son de alto peso molecular formando parte de la estructura del endospermo (matriz proteica). Las albúminas y globulinas, predominan en el germen, pero también se encuentran en la capa de aleurona y tienen las cantidades más altas de lisina (FAO, 1995a)

Referente a la composición aminoacídica, se ha informado que las proteínas del sorgo poseen como aminoácido limitante a la lisina, debido al elevado contenido en prolaminas, el contenido de leucina en el grano es excesivo y el de metionina es bajo, mientras los niveles de triptófano parecen ser adecuados en este, lo cual contrasta con el bajo contenido de este aminoácido en el grano de maíz (Llama, 1989).

Es bueno destacar el hecho observado por Jambunathan y col., (1981) sobre la gran variabilidad en la composición aminoacídica de la proteína del grano, ejemplo de ello es el contenido de lisina el cual oscila entre 71 y 212 mg /100 g de N. Según los requerimientos de la Organización Mundial de la Salud, en el sorgo la puntuación del aminoácido lisina para cubrir las necesidades de crecimiento en los diferentes grupos de edades es de 17 a 51 puntos para niños menores de 1 año, de 18 a 55 para edades comprendidas entre 2 y 5 años, de 25 a 74 para los de edad escolar (10 a 12 años) y aproximadamente a los 100 puntos para adultos OMS, (1985).

Sin embargo, la evaluación de la calidad de la proteína atendiendo solamente a la puntuación química no tiene en cuenta la digestibilidad de la misma. En lo concerniente a la digestibilidad de la proteína del sorgo, se puede señalar que estudios realizados tanto "in vitro" como "in vivo", han manifestado una amplia variabilidad de la digestibilidad, reportándose valores que van del 30 al 70 % en las distintas variedades de sorgo (FAO, 1995a). Fapojuwo y col., (1987) demostraron que el aumento de temperatura en el grano debido a la cocción tiene un efecto significativo en el incremento de la digestibilidad proteica de este. La menor digestibilidad de la proteína en el sorgo cocido se debió, según Hamaker y col., (1986) a la reducción de la solubilidad de la prolamina y a su digestibilidad por la pepsina. Estudios posteriores realizados por Gengy y Hamaker, (1998) indican que también la formación de puentes disulfuro durante la cocción, puede influir en la reducción de la digestibilidad de la proteína en el sorgo cocido. Esta observación también fue reportada por Abd y col., (1999).

Por otra parte, Elmalik y col., (1986), observaron en estudio con ratas, que la digestibilidad de la proteína de variedades de sorgo con textura intermedia cerosa fue de 70.3 a 74.5 %, valor inferior al observado para la proteína del maíz que fue de 78.5 %.

Se debe destacar que en los granos de varios cereales, sobre todo en el sorgo, se ha observado una correlación inversa entre el rendimiento agrícola de este y el contenido de proteína (Frey, 1977). Los niveles de proteína del grano también guardan una correlación inversa notable con su peso y contenido amiláceo, en cambio, los contenidos de cenizas y proteínas del grano sí se encuentran positivamente correlacionados (Subramanian y Jambunathan, 1982).

Llama, (1989) indica la reducción de la disponibilidad de la proteína en algunas variedades de este cereal por la presencia de compuestos polifenólicos, pues existe la hipótesis de que las proteínas del grano se ligan con los compuestos de taninos durante la maceración o la molienda integral del grano haciéndolas menos aprovechables. Esta influencia negativa sobre la digestibilidad de las proteínas y la disponibilidad de sus aminoácidos fue informado por Bach Knudsen y col., (1988). Además, Sikabbuba, (1989) observó en las variedades de sorgo sin taninos, que la digestibilidad de la proteína guardaba una correlación inversa con la proteína total del grano. MacLean y col., (1983), comprobaron esta observación, en estudios llevados a cabo en niños de corta edad alimentados con productos de sorgo descortezado y procesados por extrusión, al registrarse una mejoría

en la digestibilidad de la proteína que aumentaba del 46 al 81 %. Navas y García, (2000), señalaron en trabajo relacionado con la variación en la composición química de las harinas de sorgo suplementadas con suero deshidratados, que debido a los taninos presentes en el grano se reducía la digestibilidad tanto de la proteína exógena adicionada por el suero, como la endógena propia de la harina de sorgo.

Los carbohidratos

El almidón, la celulosa, los azúcares simples y pentosanos comprenden alrededor del 80% de la proporción de carbohidratos en el grano, donde usualmente entre el 70 y el 75% pertenece al almidón (Rooney y col., 1980). La glucosa, la fructosa, la sacarosa y trazas de rafinosa se encuentran también presentes en el grano, además posee un contenido en pentosanos que puede variar en un rango de 2.6 a 5.2 % el cual principalmente se localiza en el pericarpio y en el germen del grano (Karim y Rooney, 1972).

El almidón en el grano de sorgo es la principal forma de almacenamiento de los carbohidratos y está constituido por alrededor del 70 al 80 % en amilopectina, mientras el restante 20 a 30 % es amilosa, siendo el contenido medio de almidón del 69.5 %, con valores que van del 56 al 75 % (Ring, y col., 1981).

Los factores genéticos, el crecimiento ambiental y la maduración del grano influyen también en el contenido de amilosa del sorgo, conociéndose que el grano ceroso es muy pobre en amilosa y su almidón consiste prácticamente de amilopectina como es informado por Ring y col., (1981) y en trabajos realizados en institutos especializados (IBPGR y ICRISAT, 1984). Al igual que ocurre en el maíz, existe una variedad de sorgo ceroso, cuyo almidón está constituido prácticamente por amilopectina (95 % o más). La ausencia de amilosa en la estructura hace que en estas variedades se disminuya sustancialmente la retrogradación del almidón, teniendo usos industriales únicos y un mejor valor nutricional por el incremento en la digestibilidad del grano (Serna- Saldivar, 1998).

La naturaleza química del almidón, especialmente los contenidos de amilopectina y amilosa presentes en el grano, son también factores que repercuten en la digestibilidad del almidón. En la medida que posean menores niveles de amilasa, tendrán una mayor digestibilidad (Hibberd y col., 1982). Otro factor que entorpece la digestibilidad del almidón de sorgo en algunas variedades es la presencia de taninos en las envolturas del grano

como fue descrito por McNeil, y col., (1975), Hibberd y col., (1982) y Dreher y col., (1984). En ensayos de experimentación con animales, se ha confirmado la superioridad del sorgo ceroso sobre los tipos de granos normales en cuanto a materia seca y digestibilidad de la energía bruta (Elmaik, y col., 1986 y Subramanian y Jambunathan, 1982).

También, se conoce que los procesamientos del grano de sorgo como el hervido y la cocción a presión, aumentan la digestibilidad del almidón. Esto se atribuye a una liberación de granos amiláceos sin la matriz proteica que lo hace más susceptible a la digestión enzimática (Almeida-Domínguez y col., 1991 y Anglani, 1999).

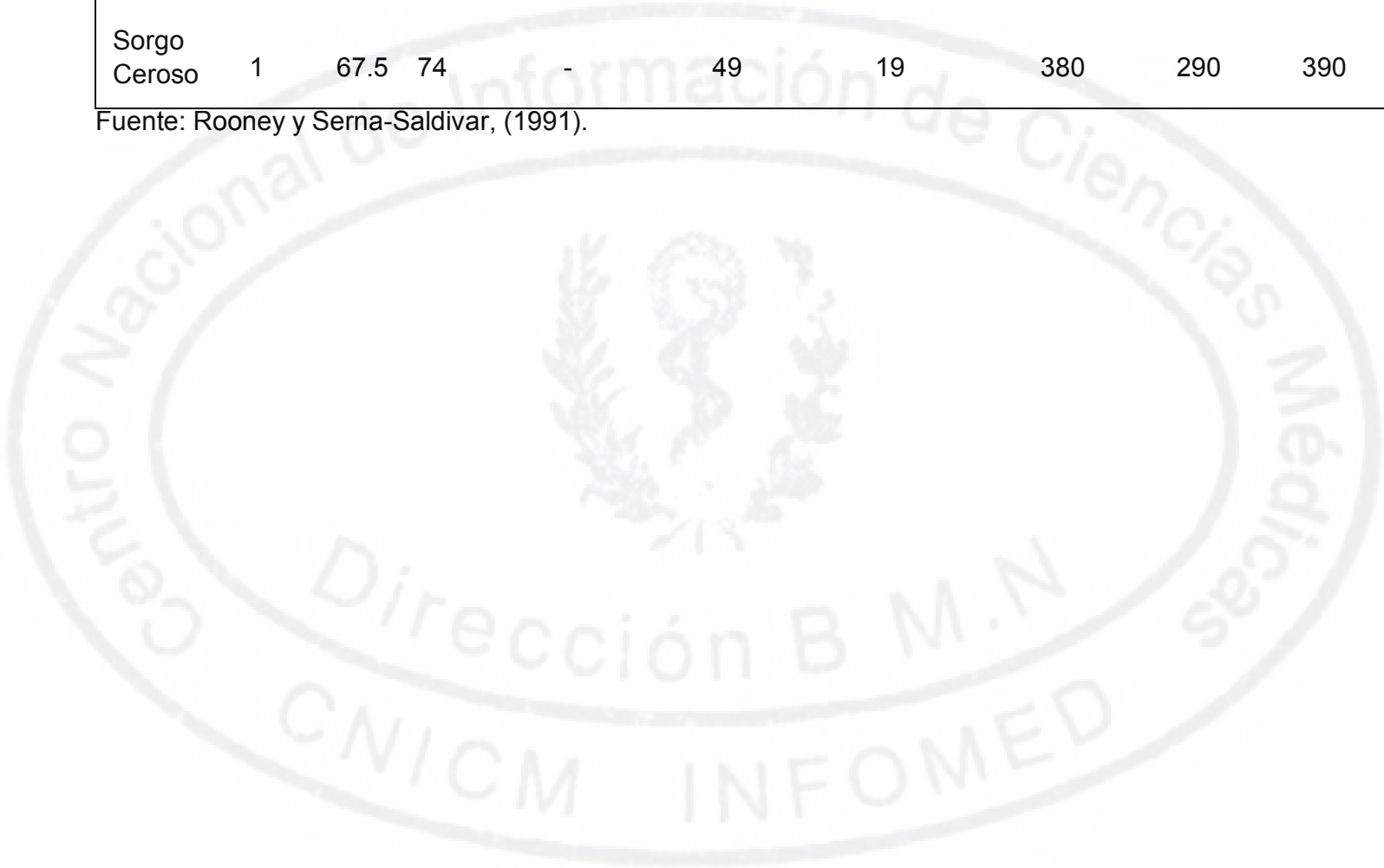
Algunos investigadores como Cagampang y Kirleis, (1984) apreciaron que la calidad del sorgo cocido estaba muy relacionada con el contenido total de amilosa y de proteínas solubles y, otros investigadores observaron que el poder de hinchazón del almidón y su solubilidad, influían considerablemente en la calidad de cocción del sorgo. El aumento porcentual del peso de grano cocido guardaba una correlación negativa con la solubilidad del almidón a 60 °C, temperatura a la que la mayor parte de los gránulos amiláceos alcanzan la fase de gelatinización (Subramanian y col., 1982).

En el almidón aislado de sorgo, los valores de digestibilidad encontrados oscilaron entre el 33 y el 48%, algo inferiores al rango de 53 a 58 % obtenidos para el polisacárido del maíz (Anglani, 1999). La textura del endospermo del grano, el tamaño de las partículas de sus harinas y la digestibilidad del almidón resultaron guardar una fuerte correlación. Por otra parte, se ha publicado que la temperatura de gelatinización del almidón de sorgo oscila en un rango que va de los 67 °C hasta los 77 °C, siendo está un poco superior a la del almidón de maíz (Watson, 1970).

En la tabla 4, se ilustran algunas características del almidón de sorgo según lo reportado por Rooney y Serna-Saldivar (1991). De la misma, se destacan las siguientes observaciones: los parámetros de mayor variabilidad entre el sorgo regular y el ceroso son, la viscosidad que presentan sus almidones a las diferentes temperaturas de calentamiento, la gran diferencia existente entre ambos tipos de almidones en cuanto a la capacidad ligadora de agua la cual influye en las diferencias de retrogradación del almidón de ambos granos y, la presencia de un rango de gelatinización algo superior en el almidón de sorgo, si se compara con el de trigo que se encuentra entre 58 y 64 °C o el de maíz donde su rango oscila entre 62 y 72 °C, como ha informado Serna-Saldivar, (1998).

TABLA 4. Características de almidones aislados del sorgo.										
Grano	Amilosa (%)	Temperatura gelatinización inicial- final (°C) (°C)		Capacidad ligadora de agua (%)	Hinchazón a 90 °C (%)	Solubilidad a 90 °C (%)	Viscosidad A 93-95 °C 3 (U.B.)	Después mantener 95 °C (U.B.)	Enfriado a 35-50°C (U.B.)	Brabender Después mantener a 35 °C (U.B.)
Sorgo	24	68.5	75	105	22	22	600	400	580	520
Sorgo Ceroso	1	67.5	74	-	49	19	380	290	390	350

Fuente: Rooney y Serna-Saldivar, (1991).



Los lípidos.

El contenido de grasa cruda en el grano de sorgo es aproximadamente del 3 al 3.5 %. Las capas de aleurona y el germen son las principales partes del grano determinantes de la fracción de lípidos, aportando el 80% de la grasa total, aunque también se encuentran en menor cuantía en el pericarpio y el endospermo (Rooney y Serna-Saldivar, 1991).

La fracción de lípidos libre extraída con éter de petróleo, está formada por triglicéridos, diglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos libres y algunos lípidos polares. La fracción extraíble con solución acuosa saturada de n-butanol, a temperatura ambiente, contiene lecitinas y otros componentes. La composición de ácidos grasos en el grano de sorgo está constituida por: 49 % de ácido linoleico, 31 % de ácido oleico, 2.7 % de ácido linolénico, 1.0 % de ácido palmitoleico y 0.2 % de ácido arquidónico que son insaturados, fácilmente enranciables. Además, dispone de ácidos grasos saturados en niveles de 14.3 % de ácido palmítico y 2.1 % de ácido esteárico. Esta composición es muy análoga a la que presenta el grano de maíz, pero se debe señalar que la de sorgo resulta más insaturada (Rooney, 1978).

Las vitaminas.

El sorgo es un cereal rico en vitaminas, principalmente del complejo B, no contiene vitamina A preconstituida aunque, algunas variedades amarillas contienen beta-caroteno, que podría ser convertido en vitamina A por el cuerpo humano. Las vitaminas del complejo B que hay en el grano (tiamina, riboflavina y niacina) son comparables a la de otros cereales como se ilustra en la tabla 5. Otras vitaminas B, presentes en el sorgo en cantidades notables por 100 g son: la vitamina B₆ = 0.5 mg, la folacina = 0.02 mg, el ácido pantoténico = 1.25 mg, y la biotina = 0.042 mg. En el sorgo también se han detectado cantidades de otras vitaminas como las D, E, y K, aunque no es fuente de vitamina C (Tan y col., 1984).

TABLA 5. Vitaminas del complejo B en 100 gramos de porción comestible en algunos cereales.

Cereal	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg)
Arroz	0.08	0.02	1.5
Sorgo	0.34	0.15	3.3
Trigo	0.30	0.07	5.0
Maíz	0.35	0.13	2.0

Fuente: Latham, (2002).

Los Minerales.

El contenido mineral de los granos de sorgo, es muy variable. Más que los factores genéticos, son las condiciones ambientales que predominan en la región de cultivo las que determinan su contenido, por ejemplo: condiciones de temperatura, fertilizantes, suelos, época de siembra y la luz solar.

En este cereal, la materia mineral está distribuida desigualmente en el grano y se halla más concentrada en el germen y las capas de revestimiento o envoltura de la semilla. La mayor proporción de los minerales recae en el fósforo, magnesio, manganeso, hierro y potasio, mientras, en pequeñas cantidades se encuentran el calcio y el sodio según plantea Llama, (1989), coincidiendo en parte, con la referencia informada por Sankara Rao y Deosthale, (1983) que se aprecia en la tabla 6.

El sorgo constituye una fuente importante de minerales para el ser humano, Van Heerden, (1989) analizando las cervezas hechas con este cereal encontró un producto concentrado en minerales, en particular cobre, manganeso, hierro, magnesio, potasio y fósforo, por lo que este alimento sin fitatos detectables según su criterio reunía minerales biodisponibles en buenas cantidades para el organismo humano.

La fibra dietética.

El estudio de la fibra presente en los alimentos es objeto de interés, desde el punto de vista de la nutrición humana, ya que se le atribuye a esta un efecto protector o beneficioso ante algunas enfermedades como las cardiovasculares, la obesidad, la diabetes y otras asociadas con el tracto gastrointestinal. Como fibra se define a todos los polisacáridos y la lignina de plantas que resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas del ser humano (Shils y col., 2000).

En este cereal, la mayoría de la fibra insoluble está presente en las paredes celulares del pericarpio y se encuentra compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y pequeñas cantidades de lignina (Bach Knudsen y Munck, 1985).

Kamath y Belavady, (1980) observaron que el principal componente de fibra insoluble del sorgo es la celulosa y Bach Knudsen y Munck, (1985) encontraron que en dependencia del contenido alto o bajo en taninos de una variedad determinada de sorgo, así era el

TABLA 6. Composición en minerales del grano de sorgo

<u>Minerales</u>	<u>Contenido</u> (mg /100 g materia seca)
Fósforo	352
Magnesio	171
Calcio	15
Hierro	4.2
Zinc	2.5
Cobre	0.44
Manganeso	1.15

Fuente: Sankara Rao y Deosthale, (1983).

contenido en lignina de estas, siendo la contribución de los polifenoles a la fracción de lignina de la fibra dietética, la causa de sus valores más altos en las variedades de alto contenido de taninos, teniendo este algunos efectos desfavorables sobre la disponibilidad de determinados nutrientes del grano, lo cual ha sido detectado en estudios realizados por Ali y Harland, (1991) y Beta y col., (2000).

1.6 El grano de sorgo comparado con los tres cereales más importantes.

Mediante las ilustraciones gráficas de las figuras 3, 4, 5, 6 y 7, se señala la composición química que presenta el grano de sorgo al compararse con los tres cereales más consumidos por el ser humano, es decir, el trigo, el arroz y el maíz (Jambunathan y Subramanian, 1988). De estas figuras, se puede conformar una idea de la real potencialidad del sorgo como alimento y, que este no presenta grandes diferencias entre los cereales comparados. Como se aprecia en ellas, el sorgo posee más proteínas que el arroz y el maíz, aunque los niveles de asimilación de estos polipéptidos son inferiores en el sorgo en comparación con los otros cereales mencionados (Latham, 2002). El porcentaje de grasa en el grano de sorgo es algo inferior al maíz pero, superior al trigo y el arroz. Sus contenidos en minerales (cenizas) son comparables a los publicados para el trigo y algo mayor que el arroz y el maíz. Sin embargo sus niveles en carbohidratos y aporte energético son algo inferiores a los restantes cereales. De lo planteado se evidencia que el sorgo constituye una fuente importante de proteínas que debe valorarse en función de su calidad, ya que anteriormente se ha comentado sobre la digestibilidad de esta. No obstante, de manera general debe resaltarse el aporte que el sorgo puede ofrecer a los seres humanos en su alimentación, por lo que las potencialidades de este cereal no deben ser menospreciadas.

1.7 Los taninos como principal compuesto modificador del valor nutricional del grano de sorgo.

Los granos de sorgo contienen fenoles que pueden afectar el color, apariencia y la calidad nutritiva de los mismos. Los componentes de los fenoles del sorgo pueden clasificarse en tres grupos: ácidos fenólicos, flavonoides y taninos Coello, (2000).

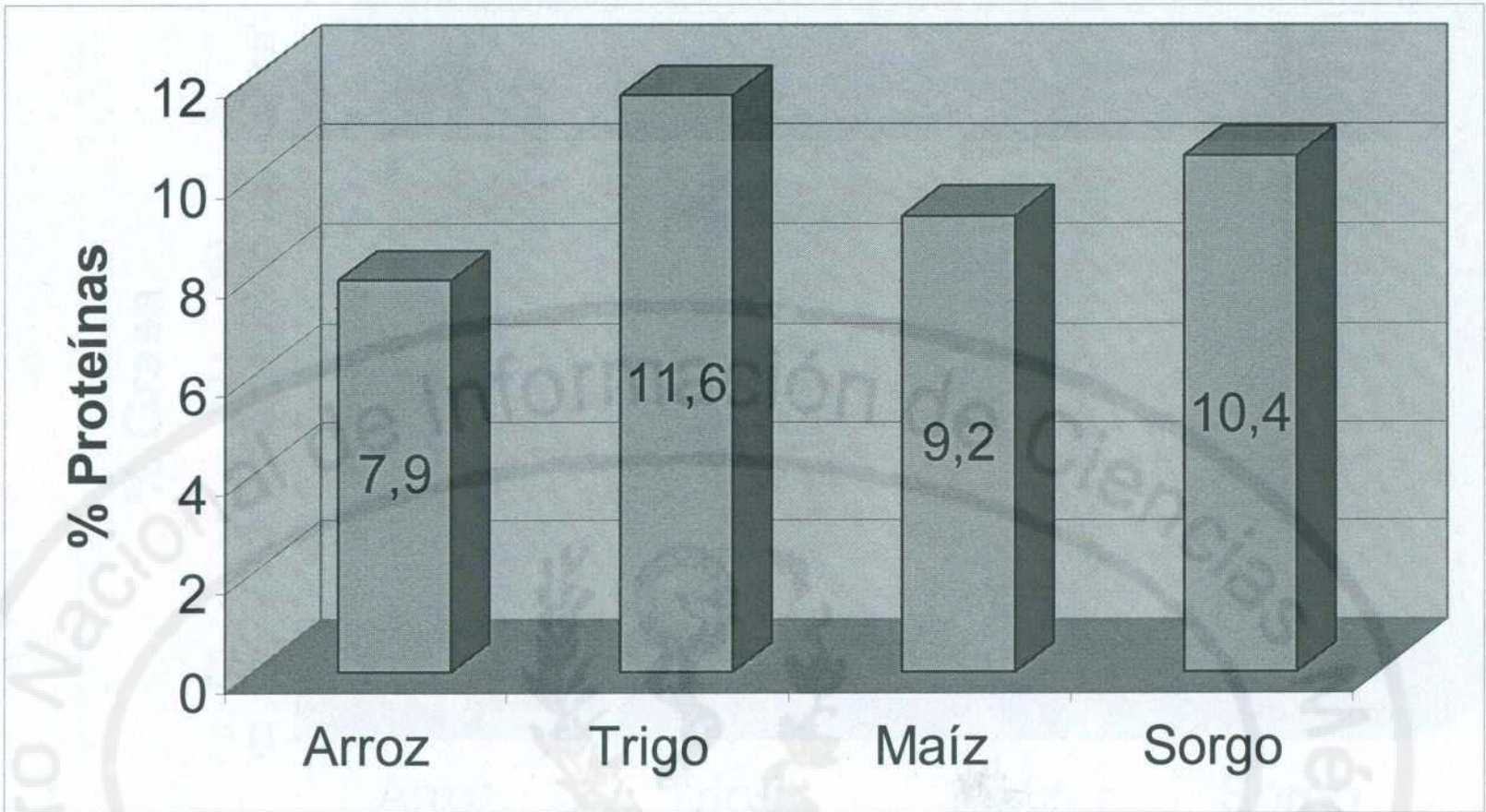


Figura 3. Contenido de proteínas de los diferentes cereales comparados
Fuente: Jambunathan y Subramanian, (1988).

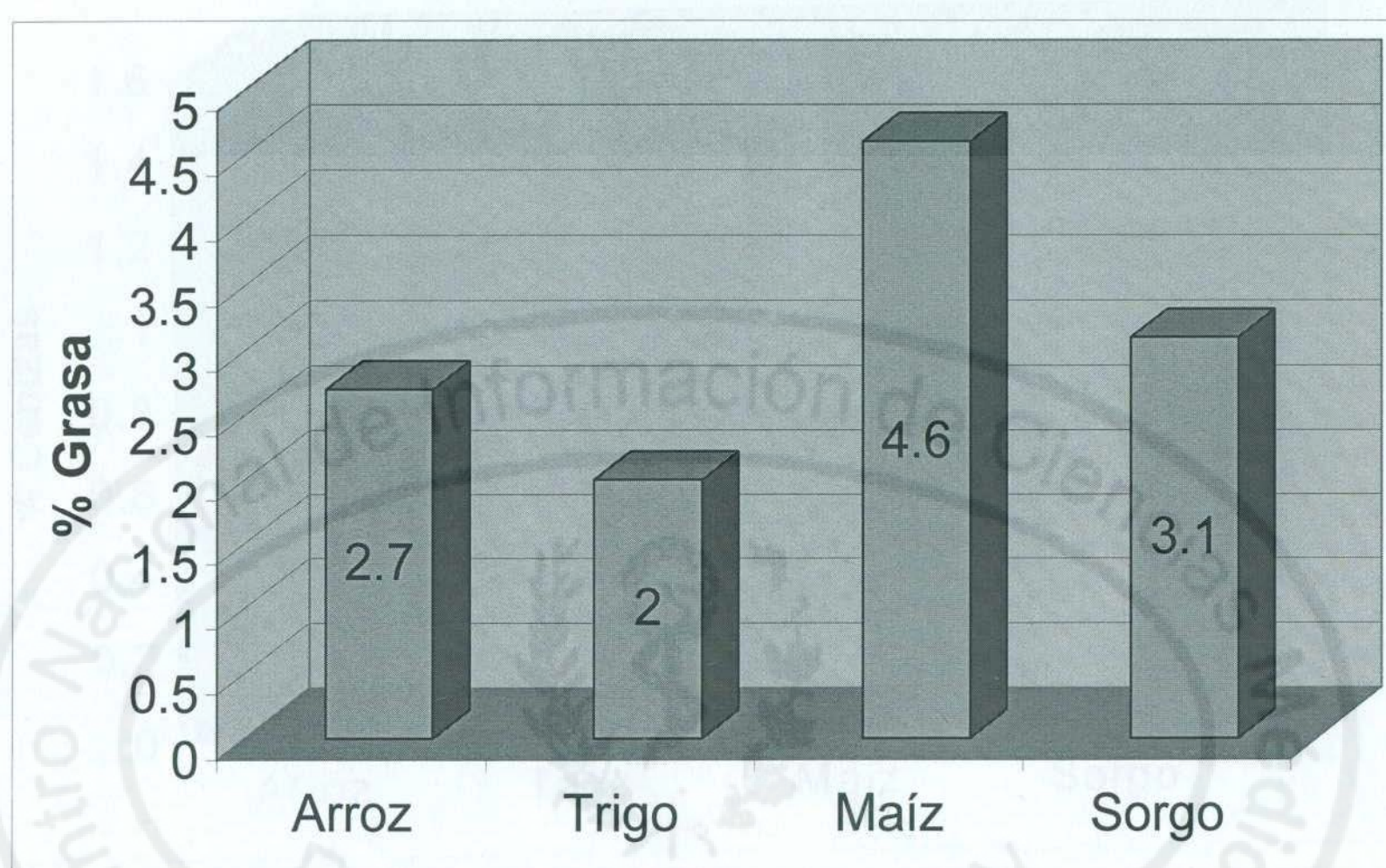


Figura 4. Contenido de grasas de los diferentes cereales comparados.
Fuente: Jambunathan y Subramanian, (1988).

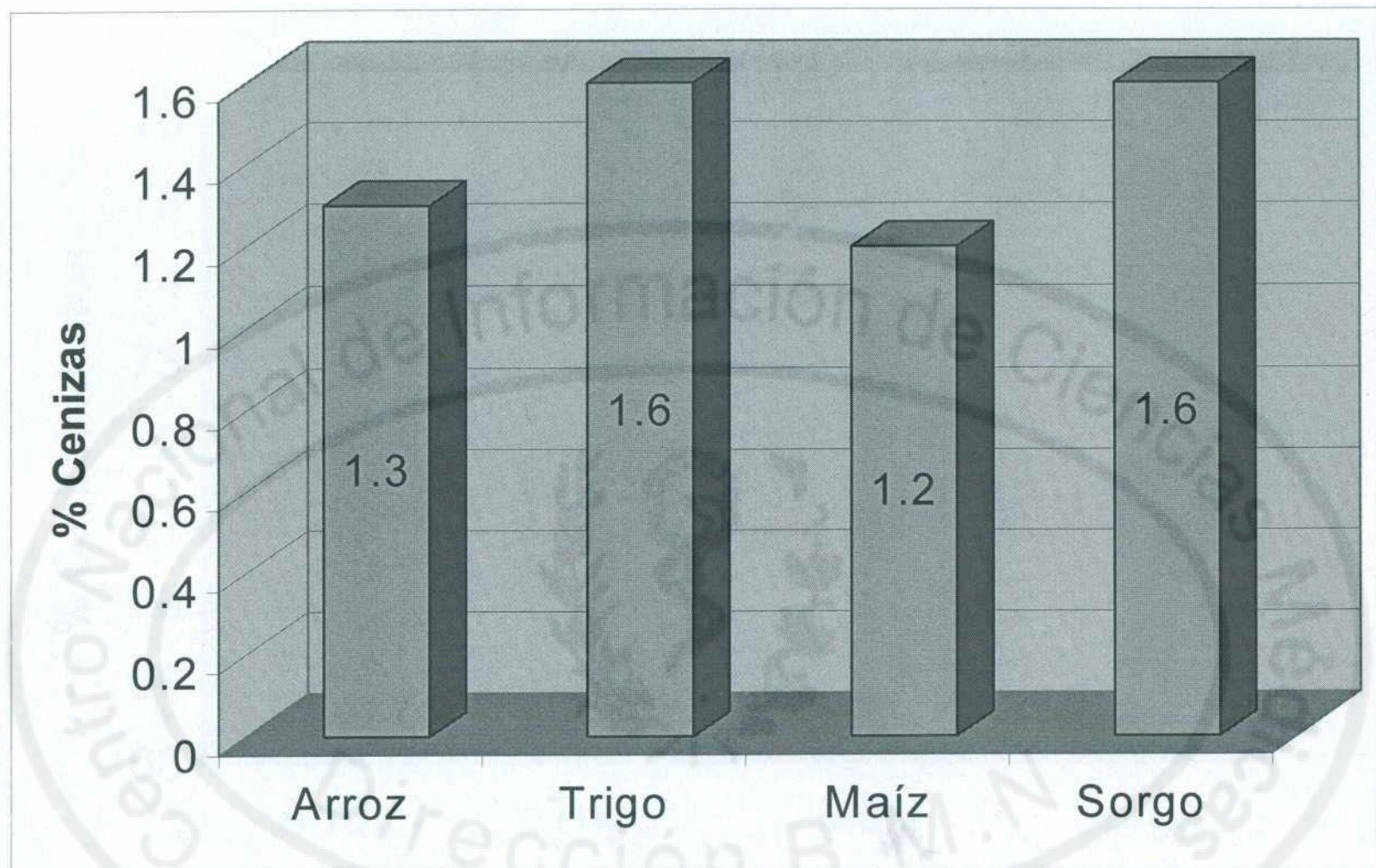


Figura 5. Contenido de cenizas de los diferentes cereales comparados.
Fuente: Jambanuthan y Subramanian, (1988).

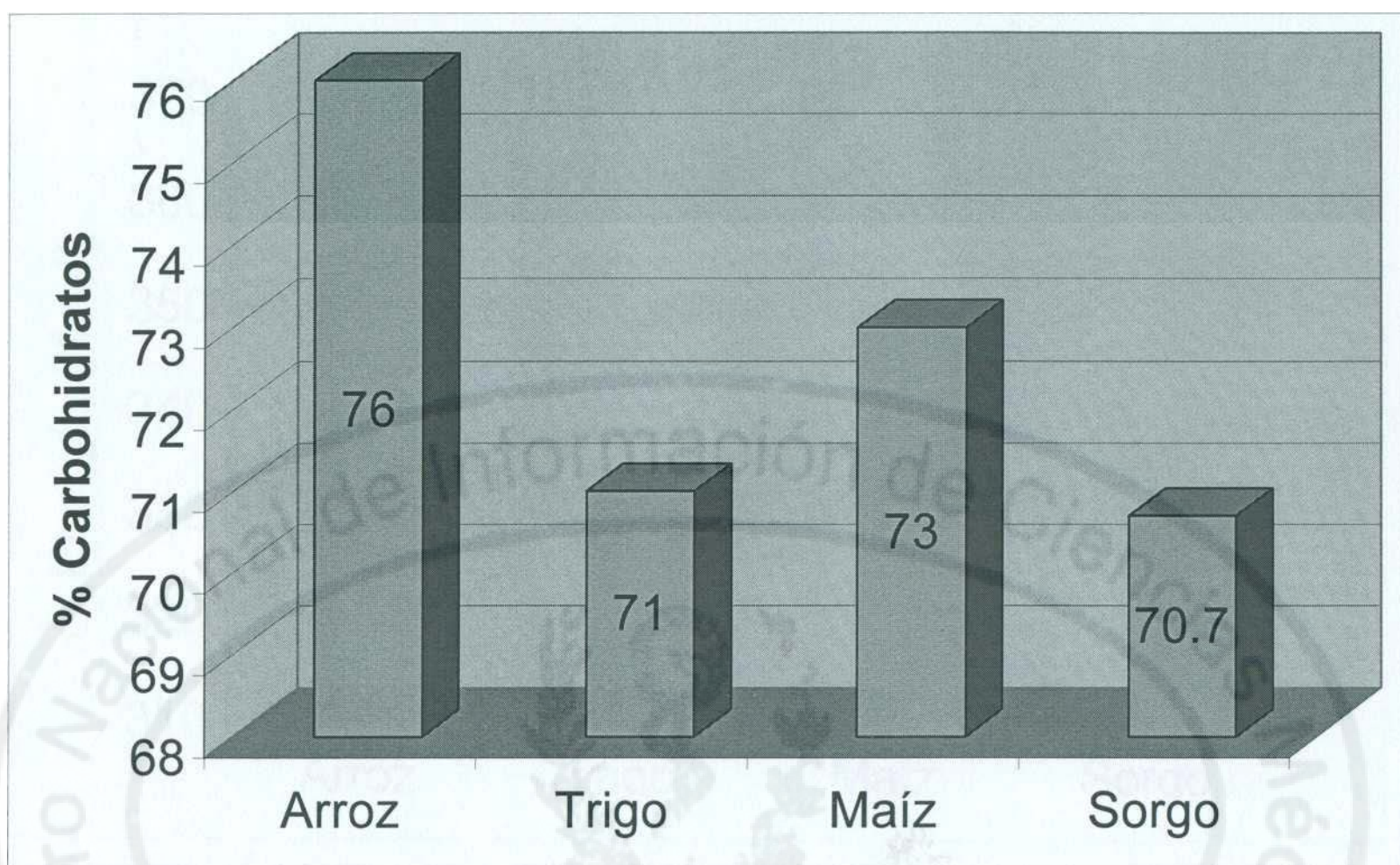


Figura 6. Contenido de carbohidratos de los diferentes cereales comparados.
Fuente: Jambanuthan y Subramanian, (1988).

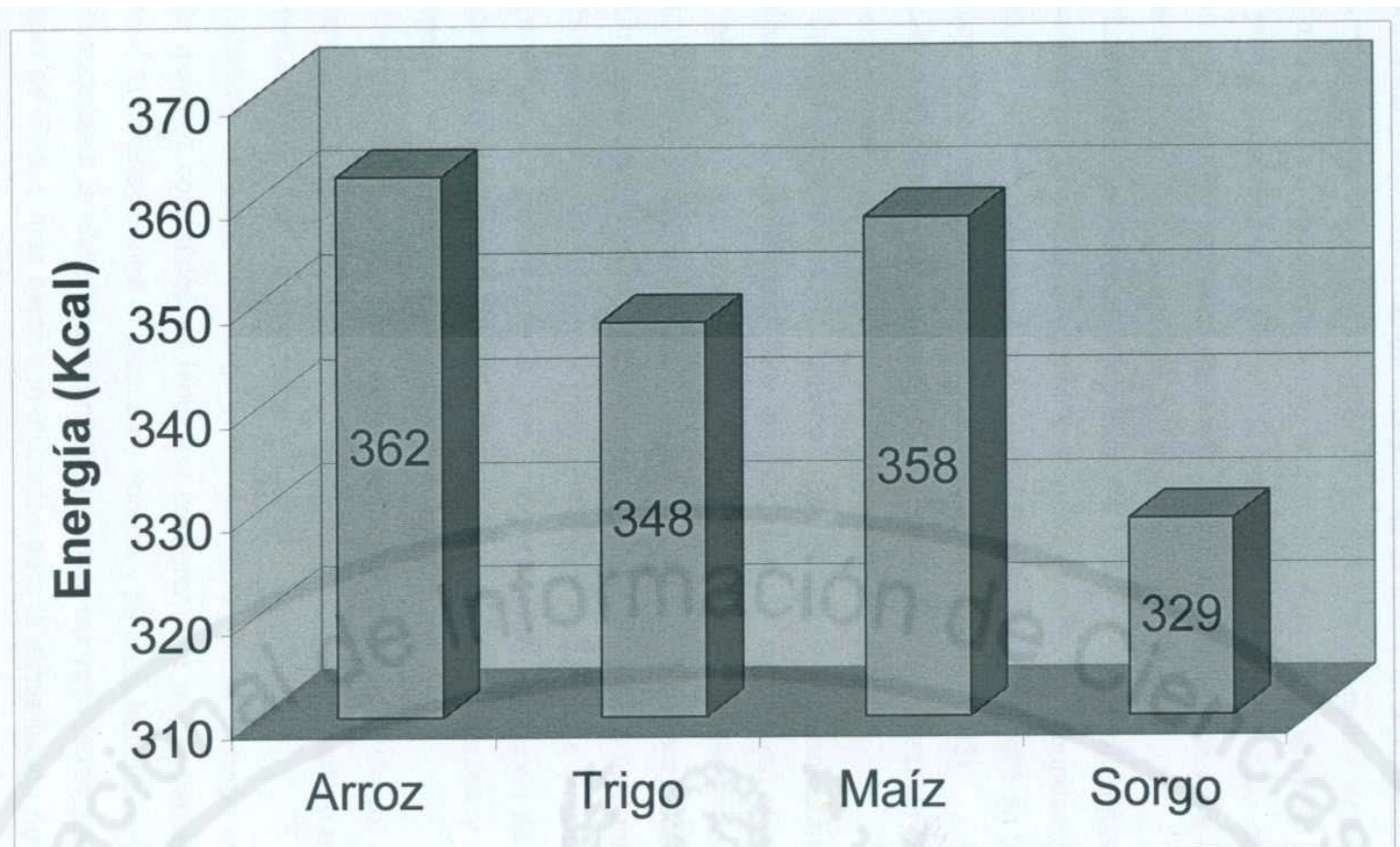


Figura 7. Valor energético de los diferentes cereales comparados.

Fuente: Jambanuthan y Subramanian, (1988).

Los ácidos fenólicos, son ácidos libres derivados del ácido cinámico o benzoico y se encuentran en todos los sorgos, principalmente concentrados en las capas exteriores y aleurona del grano. Estos tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de microorganismos y pueden proporcionar a los granos resistencia al moho antes y después de la maduración. Los ácidos fenólicos no proporcionan un efecto adverso en la calidad nutritiva del grano, pero logran producir una coloración indeseable bajo ciertas circunstancias, como ocurre en los procesos de alcalinización que se utilizan para la elaboración de las tortillas.

Los flavonoides en el sorgo, derivados del polifenol monomérico flavonor, se denominan antocianidinas. Los dos flavonoides identificados por su abundancia en los granos de sorgo son el luteoforol y el apiforol, este último también se halló en las hojas de la planta de sorgo (Bate-Smith y Rasper, 1969, Watterson y Butler, 1983).

Existen dos clases de taninos en el grano, los hidrolizables y los condensados, presentando un peso molecular entre 500 a 3000 daltons.

Los taninos condensados (catequinas, flavonoides y leucoantocianinas) son polímeros resultantes de la condensación de los flavonoles-3 y constituyen el compuesto de fenoles más abundante en el grano, principalmente en las variedades pardas oscuras. Gupta y Haslan, (1980) se refirieron a los taninos condensados del sorgo como procianidinos, al pensar que la cianidina era normalmente la única anticianidina presente.

Los taninos condensados generalmente inhiben la acción de la enzima amilasa, se unen a las proteínas del grano haciendo que estas precipiten y reducen de esta forma su valor nutritivo, además durante la maduración se hacen astringentes y adquieren un sabor amargo.

Los taninos hidrolizables (ácido tánico, ácido gálico y ácido elágico) se descomponen en azúcares y en ácido feólico cuando son tratados con ácido, álcali o enzimas hidrolíticas y no afectan el valor nutritivo del grano.

Normalmente los granos de sorgo con tonalidades pardas oscuras en las envolturas son los de mayores contenidos en taninos y confieren a la planta ventajas agronómicas, en especial, la defensa contra el ataque de hongos y pájaros, habitualmente estas variedades son destinadas a la alimentación animal, mientras las variedades blancas o amarillas por disponer de niveles más bajos son utilizadas para la alimentación humana (García y col., 1984; Salunke, y col., 1990 y Hui, (1991).

Resulta conveniente señalar, que el pericarpio es el lugar donde se encuentra presente el mayor porcentaje de taninos, lo cual repercute en la asimilación de los minerales presentes en el grano. Un estudio sobre la influencia que tiene la presencia de taninos en el sorgo y la absorción del hierro sobre las personas, se llevó a cabo en la India por Gillooly y col., (1990). Este investigador llegó a la conclusión de que el tratamiento de perlado al grano de sorgo, mejora la absorción del hierro tanto en las variedades de bajo como de alto nivel de taninos en el grano. Esto concuerda con lo observado anteriormente por Sankara Rao y Deosthade, (1980), donde se demostró en estudio "in vitro" la disponibilidad de hierro, a juzgar por el hierro ionizable expresado en el contenido de hierro total, era alta en el grano perlado ya que las envolturas del grano son ricas en fitato un compuesto que se liga con el hierro y otros minerales impidiendo su disponibilidad. Existen tratamientos previos al grano que pueden eliminar o reducir los taninos entre ellos se encuentran:

- Remoción directa del pericarpio y testa (Price y Butler, 1978; Chibber, y col., 1980 y Muvasaru, y col., 1988).
- Cocción del grano en agua o en medio alcalino (Narciso y Damacio, 1979; Price y col., 1980; Glennie, y col., 1982 y Mitaru, y col., 1984).
- Germinación y fermentación del grano (Chavan, y col., 1981; Aup y Fields, 1981; McGrath, y col., 1982 y Alvarez, y col., 1997).
- Mediante tratamientos químicos (Chavan, y col., 1979; Price, y col., 1979; Muindi, y col., 1981; Banda-Nyirenda y Vohra, 1990; Babiker y El-Tinay, 1992 y Rom, y col., 1992).
- Por almacenamiento húmedo del grano (Reichert, y col., 1980; Mitaru, y col., 1983; Myer, y col., 1986 y Teeter, y col., 1986).

1.8 Aspectos sobre el procesamiento tecnológico del grano de sorgo y sus aplicaciones en los alimentos.

El procesamiento tecnológico del grano de sorgo no se encuentra muy desarrollado ni extendido por el mundo, como ocurre con el trigo, el maíz y el arroz. El atraso industrial imperante todavía se observa, en las zonas rurales de los países subdesarrollados ya que se continúa utilizando el método tradicional que conlleva el humedecimiento del grano para la remoción del pericarpio mediante el empleo de la mano y el mortero y el viento para esparcir las capas de envolturas separadas. Es un proceso muy laborioso, que

requiere de la habilidad del trabajador y de mucho tiempo (generalmente para remover el pericarpio de 15 Kg de granos se requiere una hora). Después de realizado este trabajo, para la conversión de esta cantidad de granos descascarados en harinas, se requieren de 3 a 5 horas (Rooney y col., 1980).

No obstante, al grano se le han aplicado procesos de molienda que corrientemente se emplean en otros cereales. El sorgo puede ser sometido a un proceso de molienda seca, como es el caso de la tecnología de perlado para la separación de las capas de envolturas y germen mediante la aplicación de métodos abrasivos. Para esto, se han empleado con éxito equipos pulidores de arroz o de cebada, como también máquinas abrasivas de discos. Este proceso de molienda seca también engloba la elaboración de harinas, ya sea a través de la utilización de molinos de cilindros que se emplean en la molinería de trigos o por medio de la molturación de granos perlados utilizando molinos de impactos del tipo martillo, con la posterior clasificación del material molido empleando cernidores planos (Rooney y col., 1980).

Generalmente, la calidad y rendimientos de las harinas que se obtienen por medio del uso de los molinos de cilindros no han sido los más adecuados, a pesar de intentos por obtener éxito mediante trabajos de modificación en los cilindros trituradores de su sistema de operación llevado a cabo por Anderson y col., (1969) o mediante las investigaciones realizadas por Munck, (1995) acondicionando el grano y añadiéndole agua hasta un contenido del 20 al 27 % antes de proceder su molienda por los cilindros trituradores, pero estos trabajos solo tuvieron cierta aceptabilidad para variedades de sorgo con alto contenido de taninos. Esto concuerda con los criterios emitidos por Rooney y col., (1980) y Perten, (1983) los cuales indicaron que la mejor forma de obtener harinas a partir del sorgo, es empleando primeramente un proceso abrasivo al grano (perlado) y después su posterior reducción con molinos de impacto.

También los granos de este cereal pueden ser sometidos a un proceso de molienda húmeda con el propósito de obtener almidón. La industria del almidón a partir del sorgo fue desarrollada en Estados Unidos durante la segunda guerra mundial, en sustitución del maíz como materia prima (Watson, 1970). Desde los años 50 el sorgo se ha visto como una alternativa para sustituir al maíz en la producción de almidón (Serna-Saldivar, 1998). Rooney y col.,(1980) señalaron que la firma Corpus Christi en Texas produjo 224 mil toneladas anuales de almidón de sorgo empleando para su producción el proceso

anteriormente mencionado desde 1948 hasta 1970, cuando a partir de ese año el sorgo fue desplazado por el maíz por un incremento de precio del grano.

El proceso para la obtención de almidón de sorgo es muy similar al utilizado para la elaboración del almidón de maíz, lográndose los mismos subproductos y empleándose la misma tecnología y equipos básicos (Carrell, 1989 y University New México State, 2000). Sin embargo, existen algunas diferencias entre el sorgo y el maíz cuando se les aplica este proceso, estas son:

- 1- Generalmente el recobrado en almidón a partir del grano de sorgo es ligeramente inferior al del maíz.
- 2- Los rendimientos de aceites son inferiores a los del sorgo pues el grano tiene menor contenido que el maíz.
- 3- El tamaño inferior del grano de sorgo dificulta ligeramente su manejo industrial, siendo su germen más difícil de separar en comparación con el maíz.
- 4- La presencia de endospermo periférico puede actuar como una barrera para la penetración de la solución de remojo.
- 5- Como materia prima, el sorgo es ventajoso pues sus precios habitualmente son inferiores un 80 % a los precios del maíz.

Al igual que ocurre con el maíz, al agua de remojo del proceso se le adiciona ácido sulfuroso que contribuye a una mejor separación almidón-proteína, también en el sorgo se emplean para este propósito, bisulfito de sodio, ácido láctico, preparados enzimáticos, entre otros (Zayac, P. 1989; Yang y Seib, (1996, 1996a); Buffo, y col. (1998, 1998a); Serna -Saldivar, (1998); Seib y Xei, 2000 y Wang, y col., 2000).

Otro aspecto que reviste interés señalar sobre el proceso de molienda húmeda, consiste en la ventajosa desigualdad de densidades que existe entre el gránulo de almidón del sorgo (1.5) y las partículas de proteínas (1.0). Esto trae como consecuencia que con el proceso de centrifugación, se separan convenientemente por sedimentación los gránulos de almidón, reduciéndose según Rooney y col., (1980) el contenido proteico inicial desde un 7 o 9 %, hasta un 1.5 o 2.0 %, solamente en la primera centrifugación.

El almidón de sorgo es adecuado para su empleo en la industria alimenticia, pero también, dispone de un amplio rango de utilización en otras industrias, como la de papel y cartón, pegamentos y la conversión química de almidones (NGSP, 1999). Según informes de la Universidad del Estado de Nuevo México (2000), el almidón de sorgo fabricado en

Estados Unidos es convertido en dextrosa para su utilización en alimentos y los que son producidos a partir de variedades cerosas, se emplean en la elaboración de gomas y en la industria gráfica.

1.8.1 Las aplicaciones alimentarias del sorgo.

El nivel de aplicación alimentaria del sorgo a escala mundial es bajo, el grano se mantiene como un cereal de supervivencia para las poblaciones que habitan en el tercer mundo y se consume de diversas formas (principalmente alimentos elaborados artesanalmente), que varían de una región a otra. En general, se consume como grano entero o como harina para la preparación de platos tradicionales, también es muy empleado para la fabricación de bebidas, principalmente la cerveza en el continente africano, donde por ejemplo en Sudáfrica y otros países africanos existen desde hace años fábricas donde se elaboran cervezas del tipo lager y opacas, a partir de este grano (Daiber y Taylor, 1995 y Hallgren, 1995).

En Estados Unidos, la organización de productores de este grano ha referido que el sorgo constituye la segunda fuente de materias primas para la producción de etanol en su industria fermentativa, donde además se ha utilizado en la producción de ácido láctico, riboflavina, antibióticos y ácido cítrico. Esta clase de grano se encuentra bien situada para su empleo también en la industria de cereales, de comidas refrigeradas, de productos horneados y fermentados, o como materia prima importante en la elaboración de alimentos especializados para la población celíaca alrededor del mundo por la carencia de gluten en su harina (NGSP, 1999).

En la actualidad los científicos están conduciendo investigaciones adicionales para probar la utilidad del sorgo como extensor de productos cárnicos. Grupos industriales en Brasil han utilizado al sorgo, como materia prima ligante en la producción de salchichas (ABMS, 1989). Zyl y Zayas, (1996) realizaron un trabajo de aplicación de la harina de sorgo en la fabricación de frankfurters, demostrando la posibilidad de remplazar la harina en un 5% en el producto con excelentes características. También, Jen-Chieh y col., (1999) investigaron sobre la efectividad de la harina de sorgo como extensor de carne molida en la elaboración de patés, adicionando en la formulación diferentes niveles de esta harina hasta un 6 %, concluyendo en su trabajo de investigación, que las mejores características

del producto se obtenían con un 2 % de incorporación, siendo el alimento elaborado de buena calidad.

El empleo de sorgo en la producción de alimentos para meriendas mediante la aplicación de procesos de extrusión en condiciones apropiadas, ha sido llevado a cabo por Siwaporn y Srisak, (1995) utilizando harina de sorgo mezclada con harinas de otros cereales y tubérculos. El estudio investigativo tuvo éxito, pues se obtuvieron productos con aceptable apariencia, color, textura y sabor. También los granos de sorgo pueden utilizarse solos o mezclados con granos de otros cereales para la elaboración de productos aceptables por extrusión (Youssef y col., 1990). Además se han llevado a cabo exitosamente trabajos de aplicación del grano de sorgo para la elaboración de productos expandidos para el desayuno (Degaspari, y Waszczynskyj, (1999).

Se ha investigado asimismo, la utilización de mezcla de harinas de sorgo y trigo hasta un 25 % de incorporación del primero, para la producción de pastas alimenticias. Con referencia a esto, en la literatura se publica una patente sobre la utilización de la harina de sorgo mezclada con otras harinas de cereales para la fabricación de pastas alimenticias, que mejoran la calidad y reducen el costo del producto final (Zhumabekova, y col., 1991). Siwawej, (1993) realizó un trabajo de aplicación de la harina de sorgo mezclada con la de arroz en diferentes niveles para la elaboración de Vermicelli, encontrando en el estudio, que el incremento de la harina de sorgo involucra un decrecimiento en la aceptabilidad del producto, como también una mayor coloración en los mismos. Este mismo investigador, en (1994), desarrolló otro trabajo con diferentes niveles de sorgo y trigo en la elaboración de macarrones, llegando a la conclusión de que los productos elaborados con un 25 % de harina de sorgo, tenían mayores porcentajes de grasas, cenizas y fibras, pero inferior en proteínas, en comparación con la muestra control de trigo, siendo la coloración obtenida en los macarrones con sorgo, el índice menos halagüeño, no obstante, este producto fue aceptado por los consumidores tailandeses.

Las posibilidades remplazadoras de la harina de trigo por la de sorgo en la elaboración de pan, han sido motivo de trabajo de diferentes investigadores, llegando a la valoración que es posible sustituir de un 10 a un 15 %, sin alterar de manera excesiva las cualidades tecnológicas y organolépticas del pan (Miche, 1982 y Jyothsna y Venkateswara, 1997). Ortega y col., (1995) realizaron estudios sobre las características reológicas y de panificación obtenidas al utilizar harina de sorgo a partir de granos perlados y mezclada

con harina de trigo, llegando a la conclusión de que los niveles del 10 al 15% son los más adecuados para la obtención de panes de buena calidad.

En muchos países africanos, en las zonas rurales, se aumentan los niveles de harina de sorgo por encima del 50% en la preparación de mezclas con la harina de trigo para la elaboración de harinas compuestas, las cuales se emplean en la fabricación de pan tipo "buns" o típicos como los "maandazi", lográndose buena aceptación en los productos elaborados (Keregero y Mtebe, 1994).

Otros investigadores como Baila y col., (1999), plantean que es posible elaborar un pan con buenas cualidades hasta un 30 % de incorporación de la harina de este cereal, pero adicionando a la formulación emulsificadores y mejoradores que se utilizan para elevar la capacidad panificadora de la harina de trigo. También se han realizado trabajos con éxito en la elaboración de pan, utilizando harina de sorgo producida a partir del grano de sorgo malteado (Hugo y col., 2000). En Inglaterra, se ha utilizado en la preparación de un pan especial para enfermos celíacos, el cual está libre de gluten de trigo y lactosa (Anón, 1999).

Para la elaboración de diferentes tipos de galletas se ha estudiado el uso de la harina de este cereal hasta un 30% de incorporación (ABMS, 1989). En este producto es interesante señalar el trabajo realizado por Morad y col., (1984), donde a partir de los granos gastados de sorgo después de haber sido utilizados en la producción de alcohol fueron molidos y utilizados en la elaboración de galletas dulces, pues poseían un alto valor en proteínas y bajos en almidón, en este estudio se demostró que fue posible el empleo de esta harina hasta un 15 % comparables a la muestra control.

En otros productos horneados, como la preparación de muffins, Jung, y col., (1998) evaluaron el efecto de incorporación hasta un 30% de harina de sorgo en este tipo de alimento horneado y en las observaciones del comportamiento de los parámetros de calidad, llegaron a la conclusión que un 10% de adición era el máximo permitido.

El uso de la harina de sorgo para la elaboración de las "tortillas", alimento muy consumido en México y otros países latinoamericanos, también ha sido objeto de estudio en diferentes trabajos científicos realizados por Almeida-Domínguez y col., (1991), Torres, y col., (1994) y Quintero, y col., (1999). Estos han señalado entre otras cosas, que las características del almidón de una variedad determinada, influye en su utilización y llegaron a la conclusión de que el sorgo con baja amilosa o sorgo ceroso produce masas

pegajosas, no siendo conveniente para la elaboración de las conocidas tortillas. En Centroamérica también se ha empleado el sorgo blanco para extender el maíz cuando este último escasea para la elaboración de tortillas (Versan, 1985, y Serna-Saldivar, y col., 1988). Las variedades de sorgo con un alto tenor de amilopectina, producen harinas excelentes para usarlas como espesantes en diversos productos enlatados, y el sorgo pulido puede ser consumido directamente como el arroz o tostado mediante freidora con poco aceite (ABMS, 1989). Asimismo, este cereal puede mezclarse con soya, ajonjolí y azúcar morena en la preparación de un producto moldeado de baja humedad (Bresani y Edgar, 1993). Galiba, y col., (1987) refieren la preparación de "couscous" un producto tradicional elaborado a partir de sémola del grano de trigo extraduro, a partir de granos de sorgo y millo. En su trabajo ellos informaron que los granos de sorgo presentan mejores cualidades para la elaboración del producto, pues con estos el "couscous" poseía menor coloración y grado de gelatinización. Investigadores como Abdalla, (1999) y Anglani, (1999), también señalaron la posibilidad de elaboración del "couscous" utilizando parcialmente el grano de sorgo. Aboubacar y Hamaker, (1999 y 2000), estudiaron la relación de los carbohidratos solubles con el grado de pegajosidad, como parámetro de mayor importancia para determinar la calidad del couscous, recomendando añadir 2 % de aceite al agua de cocción para mejorar la textura del producto y disminuir su pegajosidad. En la industria alimentaria, a partir del sorgo se pueden producir, dextrosa, miel de dextrosa, aceite comestible, bebidas espirituosas y materias colorantes, entre otras aplicaciones. Además, el grano se emplea en la producción de cervezas, como han informado diferentes investigadores (Agu y Palmer, 1998; Pattinson y col., 1998 y Verstl, 1999).

1.9 La producción mundial y aspectos económicos del sorgo.

El sorgo se cultiva en Europa, Norteamérica y América del Sur principalmente para la alimentación del ganado y las aves de corral, pero en Asia, África, los países que conformaban la antigua Unión Soviética, América Central y algunos países del Caribe se emplea como alimento humano. Las áreas cosechadas en el mundo, así como los

rendimientos obtenidos y la producción en los diferentes continentes según los informes dados por la FAO en el año 2000 se muestran en la tabla 7 (FAO, 2001).

Como se observa en dicha tabla, el sorgo continuará siendo en el continente africano y en Asia, el cereal de mayor superficie cosechada a nivel mundial, pues su consumo como alimento es más estable y mucho más elevado en ambos continentes, siendo utilizado por la población más pobre que habita en mayor proporción en las zonas productoras rurales que en los núcleos urbanos. El 50 % de la producción mundial de sorgo se destina para la alimentación humana (Maunder, 2002).

1.9.1 Consideraciones económicas del grano de sorgo.

Los precios del sorgo en el mercado internacional dependen en gran medida de la situación de la demanda y la oferta en Estados Unidos, pues es el país mayor productor y exportador en el mundo de este cereal (FAO, 1995b). De acuerdo con el informe del Departamento de Agricultura de Estados Unidos sobre los precios establecidos para los diferentes cereales en el año 2002, se observa que el sorgo mantuvo una cotización de 91.20 dólares por tonelada métrica, precio inferior al experimentado por el maíz, el trigo y el arroz que fueron de 106.61, 153 y 149 dólares por tonelada métrica respectivamente.

Por otra parte, el sorgo constituye un grano de importancia en el comercio de países como Estados Unidos, Australia y Argentina, aunque se debe señalar que todavía es pequeño comparado con otros cereales como el maíz, trigo y arroz. La tabla 8, realizada de acuerdo con los datos estadísticos de la FAO del año 2001, recoge en cifras las áreas geográficas y los países mayores importadores y exportadores de este cereal en el comercio mundial, confirmando lo señalado anteriormente acerca de que Estados Unidos se establece como el principal país exportador de este cereal en el mundo. (FAOSTAT, 2001).

En el área Latinoamericana y del Caribe, los informes indican que México continuará siendo el principal importador de sorgo, con un volumen de cuatro millones de toneladas anuales, mientras Argentina es el mayor país exportador de este grano (FAOSTAT, 2001).

TABLA 7. Superficie cosechada, rendimiento y producción del sorgo en los diferentes continentes.

Continentes	Superficie cosechada (1000 HA)	Rendimiento (Ka / HA)	Producción (1000 TM)
África	22743	898	20416
Norte, Centro América	5 737	3 821	21920
Sudamérica	1 435	3 273	4696
Asia	12932	1 045	13512
Europa	140	4 401	617
Oceanía	676	2466	1 667
MUNDIAL	43663	1 439	62827

Fuente: FAO anuario de producción mundial, (2001).

TABLA 8. Principales áreas geográficas y países que presentan los mayores valores de importaciones y exportaciones en el comercio mundial del sorgo.

Áreas	Importaciones (valor 1000 \$)	Exportaciones- (valor 1000 \$)
África	21,449	1,478
América Latina y Caribe	528,032	37,579
Asia	233,845	3, 061
Australia	-	6,434
Argentina	92	32, 238
Brasil	2,288	120
China	6,266	2,680
Estados Unidos	33	626,642
Europa	35,583	32,945

Fuente: FAOSTAT, (2001).

1.9.2 La situación del cultivo de sorgo en Cuba.

En la década de los 60, comienza la fase inicial de introducción del sorgo en Cuba, este fue un cultivo de grano, preferencial en los trabajos desarrollados por el departamento de cosechas del Instituto de Ciencia Animal. Esta preferencia, estuvo basada en su tolerancia a la sequía y al corto ciclo vegetativo que posee la planta del sorgo. Se sugirió por aquellos tiempos, la utilización de este cultivo en áreas de ganaderías y terrenos arroceros para ser destinados a la alimentación animal, pues los piensos y granos forrajeros se adquirían en mercados muy lejanos, principalmente en el entonces campo socialista. Posteriormente se continuaron desarrollando en estaciones experimentales del Ministerio de la Agricultura trabajos de fitomejoramiento con este grano. Pero en todos los casos, el interés por la siembra de este cereal nunca trascendió prácticamente el marco experimental (Betancourt y Sistachs, 1984). No obstante se continuaron desarrollando con éxito, programas de semillas de sorgo en estaciones experimentales: El Tomeguín, Liliana Dimitrova, y el INIFAT, como también en el Centro de Investigaciones Agropecuarias perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central de las Villas, en las cuales se realizaron estudios agronómicos para la adaptación a nuestras condiciones climáticas de variedades de sorgo blancas y rojas.

En Cuba, en la década de los 90 se obtuvieron variedades blancas de sorgo granífero como la ISIAP-DORADO y la UGD-110 que además de poseer características agronómicas deseables, disponen de un potencial de rendimiento agrícola experimental aceptable en dependencia de la época de siembra y suelos elegidos. Ambas variedades pueden ofrecer amplias posibilidades alimentarias para el consumo humano en el país, y se está fomentando el interés por su empleo (Canet y col., 2002).

Actualmente, la producción de sorgo en granos a gran escala es muy incipiente en el país alcanzando aproximadamente 2000 hectáreas de siembra y la producción es destinada en su totalidad a la alimentación animal. Este cultivo se encuentra limitado por su bajo rendimiento de campo, falta de insumos agrotécnicos, semillas de baja calidad y de escaso incentivo económico para los agricultores, a pesar de disponer de áreas arroceras que tienen la infraestructura necesaria y condiciones para alternar la producción de este grano con el arroz.

Los resultados de la tecnología alternativa de siembra de la planta de sorgo con el arroz, han demostrado que se incrementan los rendimientos de este último en más de una tonelada por hectárea, pues el sorgo beneficia el suelo con una fitomasa de 25 t/ha, lo que contribuye a incrementar los niveles de nutrientes necesarios en el arroz (Canet y col., 2002). Según informes de las siembras de sorgo del MINAGRI para los diferentes CAI arroceros del país, recientemente se ha comenzado la plantación de aproximadamente 8 a 10 caballerías en el periodo que no se cultiva el arroz con las variedades de sorgo ISIAP- DORADO y rojo V4 en los CAI arroceros: "Los Palacios" de Pinar del Río, sur de la Habana, Holguín y Granma entre otros, obteniéndose rendimientos medios del orden de 2 ton/ha y empleando para ello dos sistemas de cultivo: agricultura intensiva (con maquinaria, fertilizantes y pesticidas) y agricultura sostenible (con bajos insumos).

Con el comienzo de esta forma de trabajo en diferentes CAI arroceros, se ha demostrado, que desde el punto de vista ambiental, la plantación del sorgo contribuye a la conservación de la biodiversidad en el ecosistema arrocerero, además se produce un incremento en el rendimiento del arroz cuando se siembra alternadamente con el sorgo y ha brindado adiestramiento a los trabajadores de estos centros de producción para el desarrollo de esta tecnología, lo que ha permitido incentivar económicamente la producción del grano en estos campos de siembra (Canet y col., 2002).

Sin embargo, para el sorgo, en el área de investigación y aplicación de los alimentos con propósitos humanos, el país no dispone de un amplio caudal de trabajo constituyendo la presente tesis, uno de los primeros estudios desarrollados metodológicamente en este campo. Es necesario enfatizar al respecto, que las diferentes Instituciones Científicas y Universidades del país deben de unir esfuerzos en los próximos años para desarrollar nuevas metodologías que conduzcan a elevar el uso del sorgo en la alimentación de nuestra población, incrementando su siembra y producción en Cuba.

CAPÍTULO 2.

MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Esquema de trabajo.

El esquema que se muestra en la figura 8 resume la forma de llevar a cabo el trabajo experimental, para lograr los objetivos propuestos en la presente tesis. Para la ejecución del estudio se obtuvo sorgo de la variedad cubana ISIAP-DORADO procedente de la estación experimental Liliana Dimitrova.

2.2 Caracterización del sorgo integral variedad ISIAP-DORADO.

2.2.1 Caracterización física del grano de sorgo integral.

La caracterización física del grano de sorgo integral, incluyó las siguientes determinaciones:

Tamaño del grano: Se determinó el tamaño de los granos en milímetros, midiéndole a una muestra aleatoria de 100 granos, la longitud y el espesor de cada unidad, mediante la utilización de un medidor de granos, de acuerdo a la norma ISO 705 (1991).

Peso de 1000 granos: Se tomó una muestra aleatoria de 1000 g, la cual se dividió en porciones de 100 g aproximadamente mediante el empleo de un cuarteador de muestra de laboratorio marca "Burrows". De cada porción se tomaron al azar 1000 granos pesándose en gramos, según la norma ISO 520 (1977).

Color del grano: El color del grano se determinó a las muestras de granos tomados al azar, utilizando el procedimiento establecido en el Centro de Control de la Calidad de los Alimentos del MI NAL. Este se basa en la interferencia que sufre un rayo luminoso al atravesar masas de diferentes coloraciones. Para la determinación se empleó un medidor foto-eléctrico de blancura marca "Kett Whitnass Meter". El equipo se ajustó con un filtro de blancura al 88 % para medir el por ciento de reflectancia, la lectura obtenida fue la medida directa del por ciento de blancura que tuvo la muestra.

Forma del grano: La forma de los granos se determinó visualizando 25 unidades del cereal tomadas al azar.

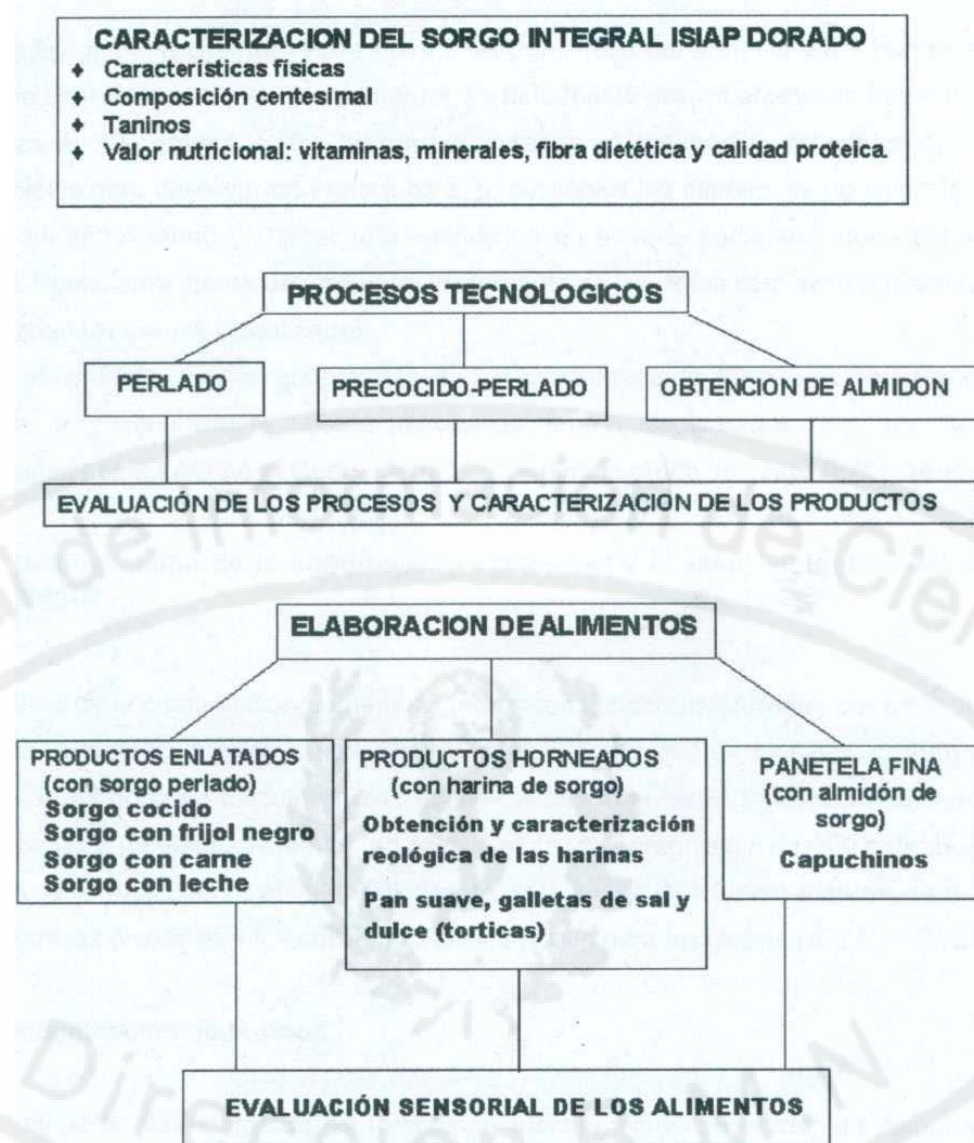


Figura 8. Esquema general del trabajo.

Clasificación del endospermo: Para obtener el porcentaje del área cerosa y harinosa que compone el endospermo del grano integral, se tomaron 25 granos al azar de tres muestras diferentes de 100 granos. Estos fueron seccionados en dos partes, colocados en cristal porta objetos para observar con una lupa estereoscópica las diferencias en color del área interior del endospermo y hacer una estimación en el valor porcentual que ocupan las mismas. Posteriormente se determinó el valor medio de las áreas cerosas y harinosas que presentaban los granos visualizados.

Todas las pruebas físicas enunciadas con excepción de la forma, se realizaron por triplicado y posteriormente, estos resultados fueron comparados con las normas establecidas por la FAO en el Codex Alimentarius para el grano de sorgo (FAO, 1994).

2.2.2 Determinación de la composición centesimal y el valor energético del sorgo integral.

Los análisis de la composición centesimal incluyeron las determinaciones por triplicado de humedad, proteínas, grasas y cenizas mediante las técnicas de la AACC (1986) y los hidratos de carbono se calcularon por diferencia. Los resultados se expresaron en base seca excepto la humedad. Además, se calculó el aporte energético para 100 g de muestra, para ello se tuvo en cuenta el valor calórico de cada gramo de macronutrientes, es decir, 4 Kcal/g para las proteínas y los carbohidratos y 9 Kcal/g para las grasas (Shils y col., 2002).

2.2.3 Determinación de taninos.

La cuantificación del contenido de taninos se efectuó siguiendo el método colorimétrico descrito en la Norma ISO 9648, (1988).

Se utilizó una curva patrón de ácido tánico cuya ecuación de regresión fue $y = -0.105 + 1.27 X$ con coeficiente de regresión $R = 0.999$.

Las determinaciones se efectuaron por triplicado, expresándose los resultados como por ciento de ácido tánico.

2.2.4 Valor nutricional del grano.

2.2.4.1 Determinación del contenido en algunas vitaminas del complejo B.

Los contenidos de tiamina (B_1) y riblofavina (B_2) se analizaron por los métodos fluorométricos rápidos 953.17 y 970.65, mientras que para la niacina se aplicó el método colorimétrico 961.14, todos descritos en la AOAC (2000). Las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en mg/100 g de muestra seca.

2.2.4.2 Determinación del contenido de minerales.

Se cuantificaron por triplicado a través de diferentes procedimientos los contenidos de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre y zinc. Los métodos empleados se mencionan a continuación:

- Para Fe, Zn y Cu se aplicó la norma cubana NC-28-32 para contaminantes metálicos (1981).
- Para Ca, Mg, Na y K se aplicaron los métodos descritos en la AOAC (1990).

Los resultados de la determinación de todos los minerales se expresaron en mg/100 g de muestra seca.

2.2.4.3 Determinación del contenido de fibra dietética.

Se cuantificaron las fracciones de la fibra dietética total, soluble e insoluble, mediante la aplicación del método enzimático-gravimétrico 985.29 de la AOAC (1997). Los análisis se efectuaron por triplicado y los resultados se expresaron en por ciento base seca.

2.2.4.4 Evaluación de la calidad proteica

La evaluación de la calidad proteica de la muestra de sorgo integral se llevó a cabo mediante métodos químicos, a través de la cuantificación de los aminoácidos y las consiguientes estimaciones del cómputo químico y de los aminoácidos limitantes. Los análisis se efectuaron por cromatografía de columnas de intercambio iónico, en un analizador de aminoácidos Beckman Instrument, modelo 118 CL, de acuerdo al

procedimiento descrito en el manual de instrucción (Beckman, 1977). En estas determinaciones, las muestras molidas y desgrasadas de sorgo integral se hidrolizaron en ámpulas al vacío con HCL 6N durante 24 horas a 105 °C, Posteriormente se eliminó el ácido en exceso, por aplicación de vacío. El hidrolizado seco fue disuelto en buffer de citrato de pH 3,25 y posteriormente filtrado para inyectar alícuotas en el analizador.

La estimación del triptófano se realizó según la metodología propuesta por Chiou y Wang (1988). En este caso, se utilizó ácido metano sulfónico 4N y cloruro de aminoetil-indol a 110 °C, bajo vacío por 22 horas, para llevar a cabo la hidrólisis. Se efectuó la derivatización con OPA (O-ftaldehído al 0.1%) y se utilizó un equipo HPLC acoplado a un detector de fluorescencia marca Gilson, modelo 126. Los análisis de los aminoácidos se realizaron por triplicado. Para el cálculo del cómputo químico y los aminoácidos limitantes se utilizaron como patrones de comparación los requerimientos aminoacídicos para diferentes grupos etéreos establecidos por la FAO/WHO/UNU (1991).

2.3 Procesos tecnológicos.

2.3.1 Proceso de perlado al grano de sorgo integral.

Las muestras experimentales del grano de sorgo integral de la variedad cubana ISIAP- DORADO, se limpiaron previamente mediante un tamiz de malla de alambre No.8 con abertura de 2.40 mm y un aspirador de laboratorio.

Teniendo en cuenta las similitudes de las tecnologías empleadas para el procesamiento en los granos de sorgo y el arroz, el estudio del proceso de perlado de los granos de sorgo se llevó a cabo utilizando un pulidor de arroz discontinuo McGill No.3, el cual posee un cilindro horizontal cromado de 7 cm de diámetro, velocidad de rotación de 1150 r.p.m. y tamiz de acero inoxidable con ranuras de aberturas de 1.3 x 0.1 cm. El proceso de perlado aplicado se ilustra en la figura 9.

En cada tratamiento se utilizaron 800 g de muestra y se graduaron las cargas e intervalos de tiempo en el pulidor con vistas a obtener diferentes grados de elaboración, para ello se llevaron a cabo ensayos previos de experimentación y posteriormente se definieron los tratamientos que se describen en la tabla 9.

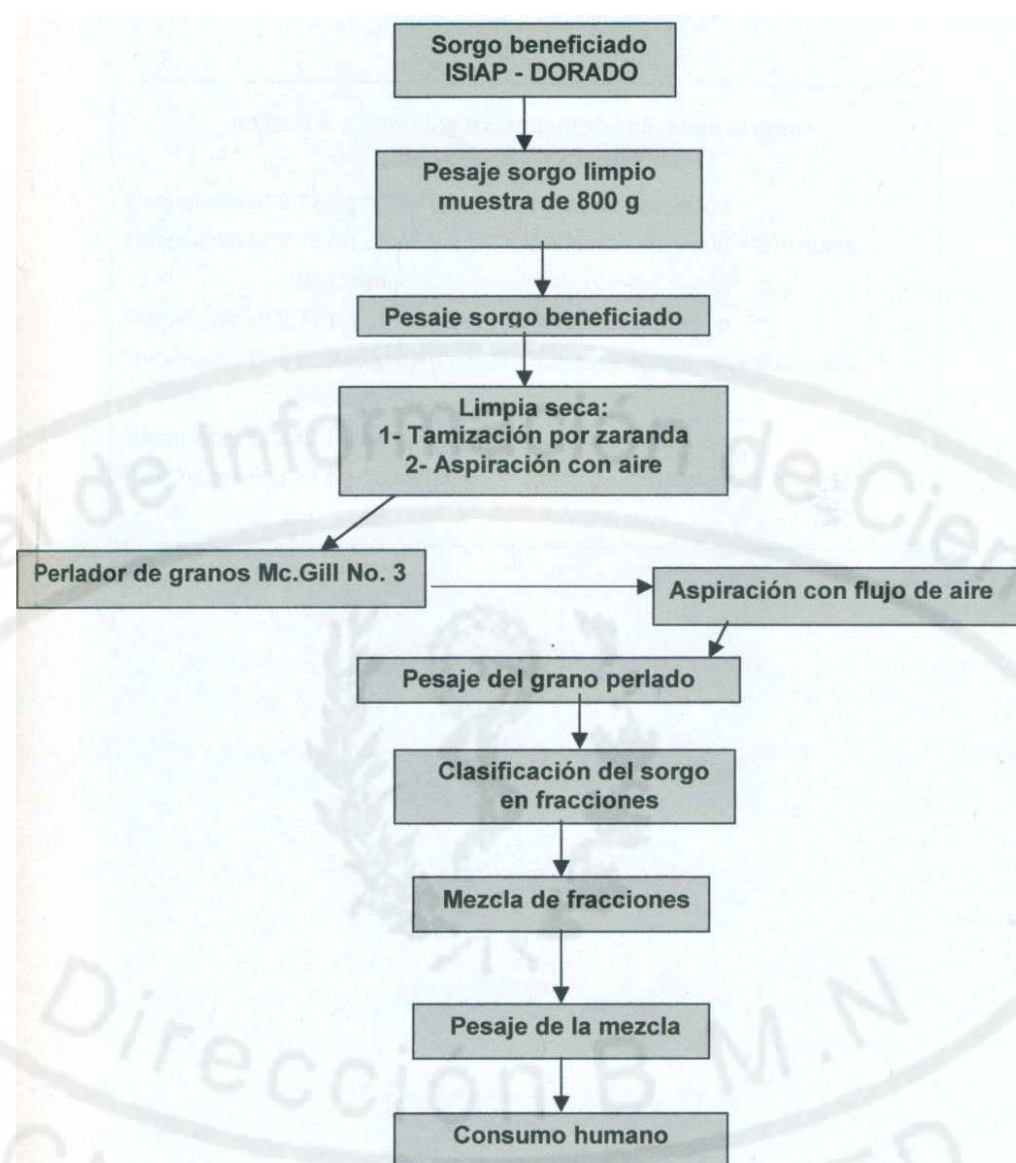


Figura 9. Proceso de perlado utilizado en el estudio

TABLA 9. Diferentes tratamientos aplicados al grano en el proceso de perlado.

Tratamiento A: 2.72 Kg de carga, y 2 minutos de operación

Tratamiento B: 2.72 Kg de carga, y 2 minutos de operación + 2 minutos
sin carga

Tratamiento C: 2.72 Kg de carga, y 3 minutos de operación Tratamiento

D: 3.62 Kg de carga, y 2 minutos de operación + 2 minutos
sin carga

Tratamiento E: 3.62 Kg de carga, y 3 minutos de operación

Tratamiento F: 3.62 Kg de carga, y 3 minutos de operación + 1 minuto
sin carga

Evaluación del proceso y caracterización de los productos del perlado.

Para evaluar la efectividad de los diferentes tratamientos de perlado sobre la calidad del grano se llevaron a cabo las determinaciones por triplicado de: grado de elaboración, color del grano procesado, rendimientos en peso de las diferentes fracciones, calidad de cocción, composición centesimal, contenidos de taninos, minerales y fibra dietética.

El grado de elaboración del grano se calculó con la siguiente expresión:

$$GE = \frac{PSI - PSP}{PSI} (100)$$

Donde:

GE = Grado de elaboración.

PSI = Peso sorgo integral.

PSP = Peso sorgo perlado.

Los diferentes grados de elaboración de los granos, se obtuvieron pesando las fracciones removidas en el proceso de perlado expresando los resultados en por ciento. También se midió la temperatura alcanzada por el grano perlado en los respectivos tratamientos. Como paso siguiente, los granos tratados se pasaron por un aspirador y posteriormente se determinó el color de estos de acuerdo a la metodología establecida en el acápite 2.2.1.

Se halló el rendimiento en granos perlados enteros y partidos obtenidos en el proceso, con relación al peso de la muestra inicial. Para ello la muestra perlada en cada uno de los tratamientos, se introdujo en un cuarteador y posteriormente se tomaron 100 g para su clasificación por fracciones, utilizando para este procedimiento una zaranda de laboratorio con mallas No.5 (0.15cm), No.6 (0.20cm) y No.7 (0.28cm). Las diferentes fracciones obtenidas se pesaron y se reportó el grano retenido en malla No.7 como por ciento de grano entero perlado y las fracciones restantes, como por ciento de granos partidos. Estos granos partidos se clasificaron de la siguiente forma: material retenido en malla No.5 = cabecilla, material retenido en malla No.6 = 1/4 de grano, material pasante en malla No.7 = 1/2 de grano.

Para conocer el efecto que produce el proceso de perlado sobre la calidad de cocción del grano de sorgo, se utilizó un equipo marca Buhler para determinar el tiempo de cocción

en pastas alimenticias y granos, empleando el procedimiento de Boracio (Hummel, 1976). Se realizó la cocción de los granos hasta alcanzar la temperatura de ebullición (1atm) a dos tiempos de 60 y 75 min para el grano perlado y de 90 min para el grano integral. Estos tiempos se determinaron mediante pruebas preliminares de observación. En estos ensayos se visualizó la cocción interior experimentada en el grano, mediante la compresión con cristales porta objetos de los granos cocidos y la observación de puntos blancos que denotan zonas de endospermo sin cocer.

Para cada tratamiento de perlado se obtuvo la media del incremento del volumen y el porcentaje de absorción de agua experimentado por los granos en ambos tiempos de cocción, comparándolos posteriormente con los valores obtenidos de igual forma en el grano sin perlar.

A las diferentes muestras de sorgo perladas con distintos grados de elaboración, se les determinaron por triplicado la composición centesimal, el valor energético, los contenidos de taninos, los minerales y la fibra dietética, según las metodologías mencionadas en los acápites 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4.2 y 2.2.4.3 respectivamente. Las últimas cuatro determinaciones solo se efectuaron en los granos de sorgo de mejor grado de elaboración.

2.3.2 Proceso de precocido al grano de sorgo integral.

Debido a la similitud de aplicaciones tecnológicas que tiene este cereal con el grano de arroz, entiéndase proceso de pulido del grano y precocción de estos, y por carecer de información sobre el tratamiento de precocción que pudiera aplicarse al grano de sorgo, se tomó como criterio en el establecimiento de las condiciones de precocción, las fases de procesos sugeridas por Panadés y Valdés, (1986) para el grano de arroz.

Las etapas del procedimiento utilizadas en el estudio fueron las siguientes:

1. Remojo: se tomaron muestras de 800 g de sorgo integral y se remojaron durante 30 y 60 min en aproximadamente tres veces la cantidad de agua respecto al peso del grano.
2. Cocción: el grano remojado se trató en autoclave a una atmósfera de presión durante 30 y 45 min.
3. Enfriamiento: el grano de sorgo cocido se dejó escurrir, dejando que alcanzara aproximadamente la temperatura ambiente.

1. Secado: se empleó un secador tipo atomizador modificado de modo que el aire solo pasó a través de un tamiz de 20 cm de diámetro y 7 cm de profundidad, donde se realizó el secado.

Las condiciones de secado establecidas fueron:

Flujo de aire = 3.30 m/s Temperaturas

de secado = 70 y 80 °C

Humedad relativa del aire de secado = 9.08 % para el aire seco a 70 °C y 7.04 % para el aire seco a 80 °C.

A partir de estos parámetros de elaboración, se procedió primeramente a realizar un diseño factorial 2^3 en las etapas tecnológicas del proceso sujeto a variación por el cambio del cereal, es decir, en el remojo, la cocción y el secado. Acorde con ello las variables independientes fueron:

1- Tiempo de remojo (X_1): nivel alto (1) = 60 min y nivel bajo (-1) = 30 min

2- Tiempo de cocción (X_2): nivel alto (1) = 45 min y nivel bajo (-1) = 30 min

3- Temperatura de secado (X_3): nivel alto (1) = 80 °C, y nivel bajo (-1) = 70 °C Las variables respuestas en el plan factorial elaborado fueron:

1- Rendimiento en peso del grano, mediante el procedimiento descrito en el perlado.

2- Incremento de volumen del grano, experimentado en el proceso de cocción.

La matriz de trabajo del diseño estadístico de plan factorial 2^3 se muestra en la tabla 10, según López Plana (1994). Posteriormente, con vistas a determinar la zona de mejores condiciones para el precocido, se realizó un diseño cuadrático bidimensional (López Plana, 1994) añadiendo tres nuevos niveles 0, -1.41 y 1.41 a las variables o factores que dieron significativas en el diseño anterior, siendo en este caso las variables independientes y sus niveles las siguientes:

1- Tiempo de remojo (X_1): nivel (-1.41) = 15 min, nivel (-1) = 30 min, nivel (0) = 45 min, nivel (1) = 60 min y nivel (1.41) = 75 min

2- Temperatura de secado (X_2): nivel (-1.41) = 65 °C, nivel (-1) = 70 °C, nivel (0) = 75 °C, nivel (1) = 80 °C y nivel (1.41) = 85 °C.

La humedad relativa del aire de secado estuvo entre 7.04 y 9.08 %.

La matriz del diseño experimental aplicada se ilustra en la tabla 11.

Con los resultados de este diseño, se procedió a analizar los contornos de la superficie de respuesta para determinar donde se encontraban las mejores condiciones.

TABLA 10. Matriz del diseño experimental 2 ³ empleado en el estudio de precocido.				
Orden de experimento	Condición	Tiempo de remojo(X1)	Tiempo de cocción(X2)	Temperatura de secado(X3)
1	30 min remojo 30 min cocción 70 °C secado	-1	-1	-1
2	60 min remojo 30 min cocción 70 °C secado	1	-1	-1
3	30 min remojo 45 min cocción 70 °C secado	-1	1	-1
4	60 min remojo 45 min cocción 70 °C secado	1	1	-1
5	30 min remojo 30 min cocción 80 °C secado	-1	-1	1
6	60 min remojo 30 min cocción 80 °C secado	1	-1	1
7	30 min remojo 45 min cocción 80 °C secado	-1	1	1
8	60 min remojo 45 min cocción 80 °C secado	1	1	1

TABLA 11. Matriz del diseño compuesto central bidimensional empleado en el estudio de precocido.

Experimentos	Tiempo remojo	Temperatura secado
1	-1(30 min)	-1(70 °C)
2	-1	1(80 °C)
3	1(60 °C)	-1
4	1	1
5	-1.41 (15 min)	0 (75 °C)
6	1.41 (75 min)	0
7	0(45 min)	-1.41 (65 °C)
8	0	1.41 (85 °C)
9	0	0
10	0	0

Evaluación del proceso y caracterización del sorgo precocido.

Las muestras de sorgo integral precocido del experimento secadas a 70 y 80 °C (variables respuestas), se perlaron empleando la condición del mejor tratamiento de este proceso anteriormente seleccionado (29.9 % grado de elaboración), comparando los rendimientos alcanzados con el obtenido en el grano integral. También, la determinación del incremento en volumen en la cocción del sorgo precocido-perlado, se llevó a cabo aplicando el procedimiento de Boracio (Hummel, 1976) mencionado anteriormente. La prueba se realizó a dos tiempos de cocción 30 y 40 minutos y para cada réplica experimental por tratamiento se calculó el incremento de volumen a esos dos tiempos, determinándose la media de ambos como valor de cada punto del diseño de experimentos.

Además de las variables respuestas, para evaluar la efectividad del proceso de precocido sobre la calidad del grano, se realizaron las determinaciones de composición centesimal, el valor energético, contenidos de taninos, minerales y fibra dietética. Estas se realizaron por triplicado según las metodologías mencionadas en los acápites 2.2.2., 2.2.3, 2.2.4.2 y

2.2.4.3

2.3.3 Obtención y caracterización de almidón sorgo.

2.3.3.1 Obtención del almidón de sorgo.

Después de consultar la bibliografía disponible sobre el tema y realizar diferentes pruebas preliminares de observación, se aplicó el método rápido de obtención de almidón mediante la molienda húmeda del grano empleado por Yang y Seib, (1996a) para otras variedades de sorgo. Este método involucra un remojo del grano en solución de bisulfito de sodio a 58°C. Al proceso aplicado se le introdujeron algunas modificaciones obtenidas de la fase previa de ensayos, que se ilustran en la figura 10, donde se describe el diagrama del proceso empleado para la obtención del almidón.

En las corridas experimentales se utilizaron muestras de 200 g de sorgo y se determinó al final del proceso, el rendimiento en almidón seco pulverizado. La ecuación empleada para su cálculo fue:

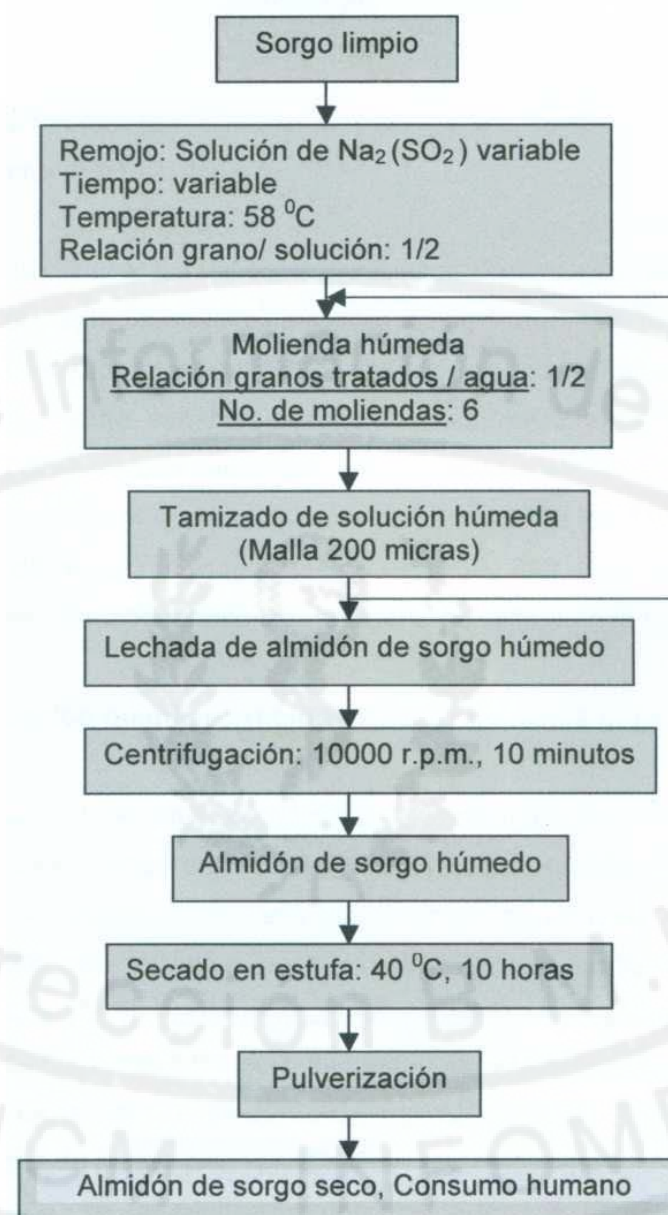


Figura 10. Diagrama del proceso empleado para la obtención del almidón.

$$Rendimiento = \frac{PA}{PG} \times 100$$

Donde:

PA = Peso de almidón (b.s.)

PG = Peso del grano (b.s.)

Con el propósito de conocer las mejores condiciones para realizar la extracción de almidón a partir de la metodología propuesta, se realizó un diseño de superficie del tipo compuesto central bidimensional (López Plana, 1994), siendo la variable respuesta el por ciento de almidón obtenido y como variables independientes, la concentración de bisulfito y el tiempo de remojo. El factor concentración de bisulfito se movió en los valores -1.41, -1, 0, 1 y 1.41 correspondiendo a concentraciones respectivas de 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, y 0.35 % y los tiempos de remojo aplicados fueron de: 180, 210, 240, 270, y 300 minutos. La matriz experimental correspondiente a este diseño se refleja en la tabla 12.

2.3.3.2 Caracterización química y reológica del almidón de sorgo.

Para evaluar la calidad del almidón obtenido, se determinó por triplicado el contenido de humedad, proteínas y cenizas de acuerdo a los métodos: 44-15A, 46-13 y 08-01 descritos por la AACC (2000). Además, se halló el contenido de amilosa, empleando el método colorimétrico utilizado por Williams y col., (1958). En esta técnica la absorbancia de las muestras se midió a 600 nm en un espectrofotómetro marca Coleman modelo 6/20. Los valores de absorbancia obtenidos se convirtieron en el porcentaje de amilosa utilizando una curva patrón de amilosa, cuya curva de regresión fue $y = -0.053 + 0.34 X$, siendo el valor del coeficiente de correlación $R = 0.980$.

También al almidón, se le analizaron por triplicado sus características amilográficas utilizando un viscógrafo-E (Brabender Instruments, Inc, Hackensack, NJ) según la técnica descrita por Tipples (1980) en el manual del equipo. Se obtuvieron los datos de una lechada de almidón de sorgo, preparada a una concentración de 7.5 % (m/v). Para esto se disolvió el peso adecuado del almidón (equivalente base 14%) en 465 mL de agua. Esta lechada de almidón se calentó en el equipo de 30 °C hasta 95 °C, con intervalos de

**Tabla 12. Matriz del diseño compuesto central bidimensional
utilizado en la obtención de almidón.**

Experimentos	Concentración de bisulfito	Tiempo de remojo
1	-1(0.20%)	-1(210 min)
2	-1	1(270 min)
3	1(0.30 %)	-1
4	1	1
5	-1.41(0.15%)	0 (240 min)
6	1.41 (0.35%)	0
7	0 (0.25 %)	-1.41(180 min)
8	0	1.41(300 min)
9	0	0
10	0	0

incremento de temperatura de 1.5 °C/min. Después se mantuvo a 95 °C durante 60 min y, luego se redujo la temperatura a 30 °C con un intervalo de descenso de 1.5 °C/min.

Los parámetros determinados en la prueba fueron: La temperatura en grado Celsius cuando alcanzó el pico de viscosidad, la viscosidad alcanzada a 95 °C y la pérdida de consistencia de la pasta, transcurridos los 60 min mantenidos a 95 °C y la caída de la consistencia de la pasta a 95 °C.

Técnicas de análisis térmico diferencial.

El almidón de sorgo obtenido se caracterizó mediante análisis térmico diferencial de barrido utilizando el método descrito por White y col., (1990) y empleando un analizador térmico diferencial marca: MDSC-2920 de TA. Instruments. Los resultados alcanzados se compararon con el almidón de trigo, al cual se le hicieron los mismos análisis térmicos por triplicado.

Para el trabajo en el analizador, se tomó una muestra de 6.6 pg de almidón de sorgo y se le añadieron 13.2 pL de agua desionizada. El tamaño de la muestra para el almidón de trigo fue de 11.4 pg al cual se le agregaron 16.5 pL de agua desionizada. Todas las muestras se colocaron en cápsulas de aluminio herméticamente cerradas y se dejaron 120 min antes de realizar las corridas térmicas. Posteriormente las muestras se calentaron de 20°C hasta 200 °C, con una velocidad de 5 °C/min, equilibrado a 20 °C, modulado +/- 0.796 cada 60 seg y con isoterma para cinco minutos.

Las características constantes empleadas en la celda del analizador fueron:

- Constante de la celda: 1.0908
- Pendiente inicial: -22.70 mW/°C
- Pendiente línea base: -0.0008
- Constante de capacidad calorífica: 1.1740

Los parámetros determinados en esta caracterización reológica fueron: el rango de gelatinización, la temperatura máxima de transición en el intervalo de 25 a 80 °C dada por el flujo de calor total, el comportamiento de la fase de evaporación de agua residual y el comportamiento del Cp para ambos almidones.

Técnicas de cizallamiento oscilatorio y cizallamiento constante.

A los almidones de sorgo y trigo, se les hicieron pruebas reométricas. Para estos análisis, se utilizó un reómetro modelo Physicals 100 de la marca Paar Physica, en el cual se trabajó con un cono CP50-4. Las muestras de ambos almidones se prepararon a una concentración de 3.5 % (base 14 % de humedad) y se les midieron sus características visco-elásticas mediante la realización de las curvas de barrido de esfuerzo y las curvas de barrido de frecuencia. Las condiciones de trabajo para obtener las curvas de esfuerzo fueron de 0.245 a 2.68 Pa, con una frecuencia de 0.1 Hz. Las curvas de barrido de frecuencia se efectuaron con un esfuerzo constante de 0.917 y una frecuencia de 0.3 a 3.5 Hz. También, se les determinaron a ambos almidones, las curvas de flujo de ascenso y descenso, controlando el esfuerzo de 1 a 15 Pa, obteniéndose los diferentes puntos espaciados de manera logarítmica. Estas curvas de flujo se realizaron a 25 y 50 °C respectivamente. Se comprobó, observando los cambios en la viscosidad y al esfuerzo de cizalla, si los almidones analizados se comportaban siguiendo un modelo newtoniano o un modelo de Ostwald. Además, se estimó y comparó la fortaleza del gel formado por cada almidón.

2.4 Elaboración de alimentos.

2.4.1 Preparación de las mezclas de harinas trigo-sorgo y elaboración de productos horneados.

2.4.1.1 Obtención de la harina de sorgo.

La harina de sorgo se obtuvo a partir del grano perlado de la variedad cubana ISIAP- DORADO con un grado de elaboración del 29.9 % de elaboración, después de ser molidos con un molino de impacto tipo martillo. El material obtenido, fue cernido y clasificado a las dimensiones de partículas establecidas para harinas, correspondientes al tamaño de 180 mieras según la NC-86-10:84. Esta harina, se caracterizó químicamente aplicando los procedimientos establecidos por las normas cubanas (NC-86,1984), señalando los valores en el anexo 1.

2.4.1.2 Características reológicas de las mezclas de harinas de trigo-sorgo.

Las características reológicas de las mezclas de harinas trigo-sorgo se estudiaron tomando como muestra, harina de trigo de producción nacional elaborada con trigo duro canadiense para panificación (CWRS # 2) obtenida del Combinado de Cereales de la Habana. Esta harina se caracterizó químicamente, aplicando los procedimientos establecidos por las normas cubanas (NC-86,1984) y se les determinaron además, sus contenidos de gluten húmedo y seco de acuerdo a las normas cubanas NC-06-86:84 y NC- 07-86:84, respectivamente. Los valores de esta caracterización se resumen en el anexo 1.

Los ensayos farinográficos se realizaron en base al 14% de humedad de las harinas elaboradas con mezclas trigo-sorgo al 10, 20 y 30% de sustitución de harina de trigo por harina de sorgo y la muestra control con el 100 % de harina de trigo. Las pruebas se hicieron por triplicado utilizando un farinógrafo Brabender con amasadora de 300 g y aplicando el método de trabajo descrito en la norma cubana (NC-86-12,1984). Los parámetros farinográficos determinados fueron:

- 1- Absorción de agua, expresado en por ciento.
- 2- Tiempo de arribo expresado en minutos.
- 3- Tiempo de desarrollo expresado en minutos.
- 4- Estabilidad expresada en minutos.
- 5- Tiempo de salida expresado en minutos.
- 6- Debilitamiento a los 20 min expresado en unidades Brabender (UB).

También se analizaron por triplicado, las características alveográficas a las mezclas de harinas trigo-sorgo y muestra control citadas anteriormente, utilizando para ello un alveógrafo de Chopin modelo NG. Las determinaciones se realizaron a 25 °C en base 14 % de humedad, siguiendo el procedimiento oficial establecido para las determinaciones alveográficas según Panreac, (1989).

Los parámetros alveográficos evaluados en las harinas fueron:

- 1-La tenacidad "P": Se encuentra relacionada con la resistencia que opone la masa al ser estirada y se calcula midiendo la altura máxima de la curva alveográfica. Se expresa en mm.

- 2- La extensibilidad "L": Se relaciona con la capacidad de alargamiento de la masa y se determina midiendo la longitud máxima de la curva alveográfica a lo largo de la línea cero, desde el origen hasta el punto correspondiente de corte final en esta. Se expresa en mm.
- 3- El índice de hinchamiento "G": Se encuentra referido a la extensibilidad de la masa y se calcula multiplicando el factor 2,222 por la raíz cuadrada de "L" (extensibilidad). Se expresa en ml.
- 4- La relación "P/L" o relación de configuración de la curva: Constituye la relación entre los parámetros tenacidad (P) y extensibilidad (L) de la masa. Determina el factor de equilibrio de esta.
- 5- El trabajo específico de deformación o área bajo la curva "W": Representa el conjunto de propiedades plásticas de la masa y define la fuerza de esta. Se expresa en 10^{-4} Joule. Además, se efectuaron por triplicado, análisis de índice de caída para determinar la actividad alfa-amilásica que presentaron las muestras de harinas ensayadas. Se utilizó para la realización de las pruebas, un equipo Falling Number, modelo 1400, aplicando el procedimiento descrito en la norma cubana (NC-86-13, 1984).

2.4.1.3 Elaboración y evaluación de pan de corteza suave.

Para la elaboración de pan de corteza suave, se empleó una harina de trigo duro canadiense y harina de sorgo cuyas características se reflejan en el anexo 1.

La fórmula utilizada para el pan de corteza suave se ilustra en la tabla 13.

Las corridas experimentales o pruebas de panificación se realizaron por triplicado, a muestras de harinas mezcladas en proporciones trigo-sorgo: 90/10, 85/15 y 80/20 y, siempre ejecutadas en paralelo con la muestra control (100% de harina de trigo).

Se usó para la elaboración de las masas panarias una mezcladora tipo "Diosna" de dos velocidades, las que se realizaron con dos kilogramos de harina. Para la elaboración de los panes, se utilizó el método directo de trabajo y se siguieron las siguientes etapas:

- Etapa de mezclado: Todos los ingredientes se mezclaron para la elaboración de la masa aplicando dos minutos a baja velocidad y tres minutos en alta.
- Etapa de fermentación: Las masas se colocaron en cámara de fermentación durante 90 min a 30 °C y 80 % HR,

TABLA 13. Fórmula empleada en la elaboración de pan.	
Ingredientes	% Base harina
Harina trigo / sorgo o trigo -----	100
Agua-----	56
Levadura seca -----	1
Leche en polvo -----	3
Azúcar refino -----	6
Sal común-----	2
Grasa-----	4

- Etapa de desgasificación: La masa fermentada se trabajó en una sobadora mecánica de dos cilindros hasta adquirir la consistencia deseada.
- Etapa de corte y conformado de piezas: Las piezas se cortaron a 600 g de masa cruda y se configuraron en forma enrollada, colocándose estas con la hendidura hacia abajo en moldes abiertos ligeramente engrasados.
- Etapa de dilatación: Los moldes se colocaron en cámara de dilatación a 35 °C y 80% HR, se finalizó la dilatación cuando se alcanzó 500 cm³ de CO₂ desprendido en la etapa y, medido en un fermentografo SJA.
- Etapa de horneado: Las piezas se cocieron en un horno eléctrico de gavetas a 200 °C por espacio de 25 min aproximadamente.
- Etapa de enfriamiento: Los panes horneados se dejaron enfriar durante 120 min a temperatura ambiente antes de proceder a realizar los análisis correspondientes.

El proceso fermentativo de las masas se registró midiendo el volumen de dióxido de carbono desprendido por medio de un fermentografo SJA ajustado a 30 °C, a una masa equivalente a 125 g de harina, base 14 % de humedad durante 90 min de fermentación. Igualmente se determinó el volumen de dióxido de carbono durante la etapa de dilatación o segunda fermentación, registrándose el tiempo requerido para alcanzar la producción de un volumen de CO₂ de 500 cm³.

A los diferentes panes elaborados se les determinó su peso y el volumen específico. Para medir esto último, se empleó el método de desplazamiento de semillas (TGL, 1982), utilizando un equipo para determinar el volumen del pan, en el cual se mide el volumen de semillas de espárragos desplazadas por cada pieza de pan en la cajuela medidora. El volumen específico se calculó dividiendo el volumen del pan en cm³ entre el peso en gramos de cada pan.

Los panes suaves tipo molde obtenidos con las mezclas trigo-sorgo y muestra control, se sometieron a una evaluación sensorial descriptiva por un grupo de 7 catadores en este producto, empleando el procedimiento de evaluación sensorial (PES) elaborado por el departamento de NMCC del MINAL para pan de corteza suave y dura (MINAL-DNMCC, 1979). La puntuación alcanzada en cada caso, fue la resultante de los siguientes atributos evaluados: aspecto externo e interno, olor, sabor y textura de los panes con una puntuación de 5 puntos cada uno de ellos. Cada atributo se multiplica por el factor de conversión correspondiente para obtener los 20 puntos de calificación total. Se seleccionó

como el mejor pan con mezcla trigo-sorgo, aquel que alcanzó la mayor puntuación en la evaluación realizada. Posteriormente, el pan seleccionado, se evaluó por 80 consumidores potenciales para detectar el nivel de la aceptación o rechazo del producto mediante la realización de una prueba afectiva hedónica de 7 puntos, con valores extremos para 7 y 1 de la escala: me gusta extremadamente y me disgusta extremadamente respectivamente que se ilustra en el anexo 2. Se efectuaron tres corridas experimentales y se prefijó una puntuación igual o superior a 5 puntos para establecer la aceptación del producto.

2.4.1.4 Elaboración y evaluación de galletas de sal.

Para la elaboración de las galletas de sal, se utilizó harina de trigo de producción nacional, obtenida de trigo canadiense duro para panificación proveniente del "Combinado de Cereales Habana". La harina de sorgo se elaboró siguiendo el procedimiento descrito en el acápite 2.4.1.1, las características de ambas materias primas se señalan en el anexo 1. La fórmula utilizada para la elaboración de las galletas se describe en la tabla 14 y se empleó como procedimiento de elaboración el método directo "con dilatación", utilizando en todos los experimentos dos kilogramos de harina para la elaboración de las diferentes masas panarias. Se hicieron tres de corridas experimentales, con intervalos de sustitución del 5% de harina de trigo por harina de sorgo y siempre se realizaron en paralelo a una muestra control. Se comenzó con un nivel del 10 % de sustitución y se finalizó en un 30 %.

El procedimiento tecnológico ejecutado, se describe a continuación:

- Los ingredientes se pesaron de acuerdo a la formulación descrita.
- El mezclado de los ingredientes se realizó en una mezcladora planetaria de dos velocidades, aplicando dos minutos en la primera velocidad y cinco minutos a la segunda velocidad para la formación de la masa, hasta lograr la consistencia óptima de la misma.
- La masa obtenida se colocó en una cámara de fermentación, a una temperatura controlada de 30 °C y humedad relativa del 80 % durante 180 min
- Concluida la fermentación, se pasó a la etapa de desgasificación utilizando una sobadora mecánica de dos cilindros donde se obtuvieron los paños de masas para

TABLA 14. Fórmula empleada en la elaboración de galletas de sal.

<u>Ingredientes</u>	<u>% Base harina</u>
Harina de trigo / sorgo o trigo -----	100
Sal común-----	2
Azúcar refino -----	2
Levadura fresca -----	2
Grasa-----	8
Agua potable -----	39

ser posteriormente extendidos con rodillo y troquelados a mano sobre la mesa de trabajo.

- Las piezas de masas troqueladas se depositaron en bandejas planas ligeramente engrasadas, y luego se les espolvoreó sobre su superficie, sal en pequeñas proporciones.
- Las piezas se dejaron dilatar por espacio de 30 minutos, en cámara de fermentación a 35 °C y 80 % de HR.
- Las piezas se cocieron en un horno eléctrico de gavetas a 200 °C por espacio de 12 minutos aproximadamente.
- Las galletas recién horneadas se dejaron enfriar durante 60 min, antes de ser destinadas a su análisis y evaluación sensorial.

Se tomaron en cuenta como criterios de selección para determinar el nivel máximo de sustitución de la harina de trigo en las galletas, las posibles dificultades tecnológicas que pudieran experimentarse en la etapa de elaboración de las mismas. También, se observó la calidad externa e interna del producto elaborado y se determinaron los rendimientos o mermas del proceso en las galletas confeccionadas en los diferentes niveles estudiados.

Se realizó una prueba hedónica de ordenamiento por rango empleando 18 jueces experimentados para conocer la existencia o no de diferencias significativas entre los distintos niveles de sustitución utilizados. Se rechazaron -las galletas que dieron significativamente diferentes a la muestra control. La hoja de cata para la evaluación sensorial empleada se ilustra en el anexo 3.

Para obtener criterios de aceptación de las muestras seleccionadas por los jueces experimentados, posteriormente para cada corrida experimental, se utilizó una prueba afectiva con 80 consumidores potenciales empleando una escala hedónica de 7 puntos con valores extremos para 7 y 1 de la escala: me gusta extremadamente y me disgusta extremadamente respectivamente, como se apunta en el anexo 2. Se estableció como criterio de aceptación del producto, una puntuación superior o igual a 5 puntos.

2.4.1.5 Elaboración y evaluación en un producto horneado dulce (tortica).

Se empleó la harina de sorgo elaborada como se describe en el acápite 2.4.1.1 y harina de trigo duro canadiense, ambas con las características señaladas en el anexo 1.

Para la evaluación de las harinas se seleccionó un tipo de producto de fácil elaboración y de amplia demanda popular como es el caso de la tortica o polvorón, siendo la fórmula empleada para la confección del producto, la que se ilustra en la tabla 15.

En la elaboración de este alimento, se utilizaron tres niveles de sustitución, adicionando 10, 20 y 30 % de harina de sorgo por harina de trigo. Se realizaron tres corridas experimentales en paralelo a la muestra control (100 % harina de trigo).

El procedimiento tecnológico utilizado para la elaboración de la tortica o polvorón se describe a continuación:

- En mezcladora planetaria con paleta, se creman bien toda la grasa y el azúcar.
- Seguidamente se agregan los huevos, continuando el mezclado para aumentar el volumen de la mezcla en preparación.
- Por último se añaden la harina, el polvo de hornear, la sal y unas gólicas de sabor vainilla, para unir todos estos ingredientes en la mezcla, se continúa el mezclado hasta obtener la consistencia y uniformidad adecuada de la masa formada.
- Se le da forma de torticas con las manos, a porciones de la masa de 30 g pesadas con anterioridad y se colocan aplanadas en bandeja ligeramente engrasada.
- Se hornean a 200 °C hasta que se doren.

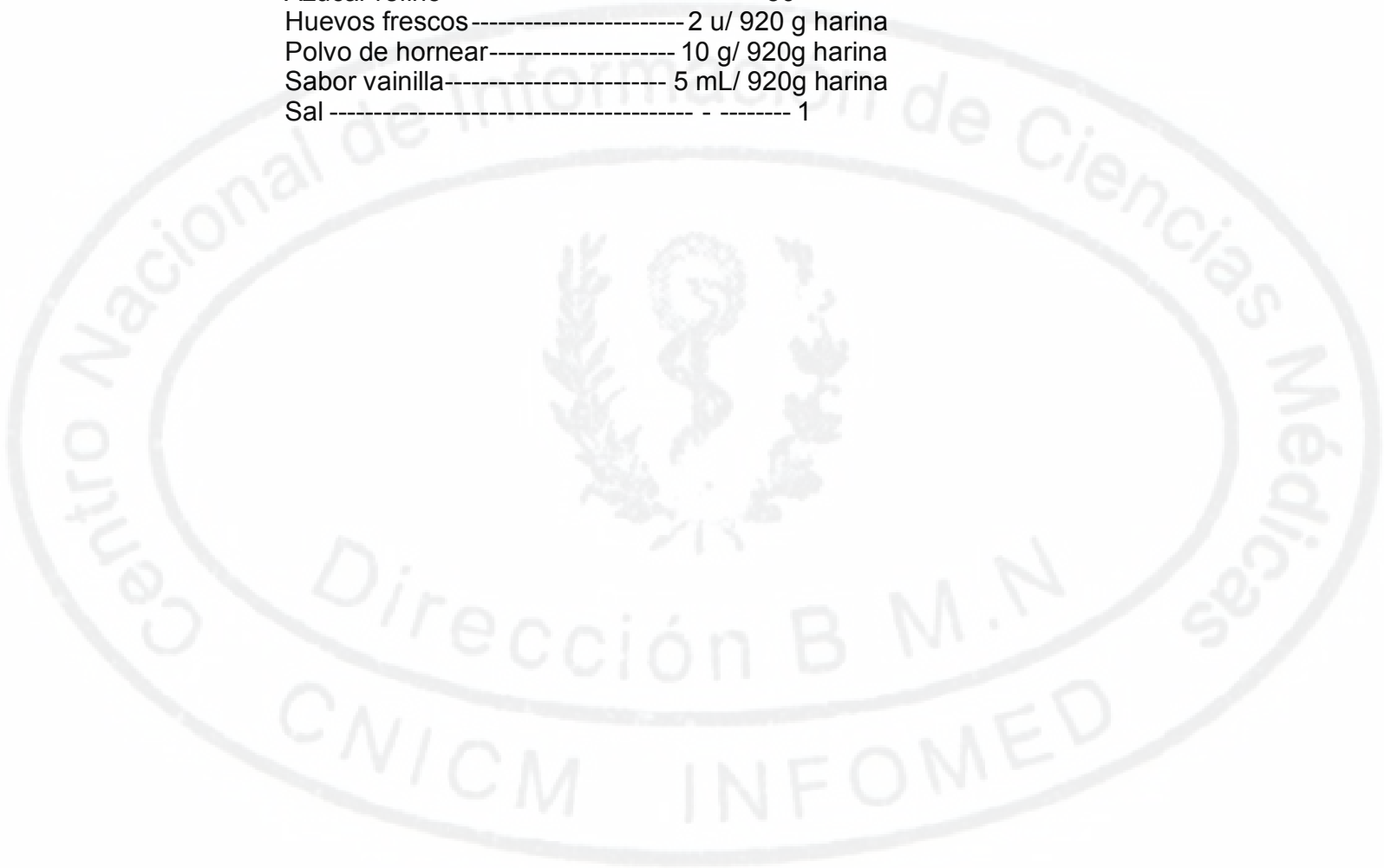
Se prestó atención a las posibles dificultades tecnológicas que pudieran surgir en las etapas de elaboración, como también a las modificaciones en cuanto a la coloración y textura del producto después de terminada su cocción. Además, se obtuvieron los valores de las pérdidas en peso de las torticas en la etapa de horneo.

A los cuatro niveles de dulce elaborados con los diferentes porcentajes de sustitución de harina de sorgo se les midió el volumen alcanzado después de horneados y dejados enfriar, utilizando el procedimiento por desplazamiento de agua. Para ello se recubrió con cera toda la superficie del producto y se sumergió en un volumen de agua predeterminado, midiendo en cm^3 el volumen de agua desplazada.

Se realizó una prueba hedónica de ordenamiento por rango como método cuantitativo de análisis sensorial para obtener una indicación en las muestras el grado de aceptación realizado de menor a mayor. Las muestras codificadas se colocaron al azar, utilizando para esta evaluación primaria 18 jueces experimentados. La hoja de cata para la evaluación sensorial se muestra en el anexo 4.

TABLA 15. Fórmula empleada en la elaboración del dulce “tortica o polvorón”.

<u>Ingredientes</u>	<u>% Base harina</u>
Harina de trigo / sorgo o trigo-----	-----100
Grasa -----	-----50
Azúcar refino-----	-----50
Huevos frescos-----	2 u/ 920 g harina
Polvo de hornear-----	10 g/ 920g harina
Sabor vainilla-----	5 mL/ 920g harina
Sal -----	-----1



Al producto mejor evaluado en la prueba de ordenamiento respecto a la muestra control, se le realizó posteriormente a cada corrida experimental, una prueba sensorial afectiva con 80 consumidores potenciales, aplicando una escala hedónica de 7 puntos con valores extremos para 7 y 1 de la escala: me gusta extremadamente y me disgusta extremadamente, como se ilustra en el anexo 2. Se prefijó como criterio de aceptación del producto, una puntuación superior o igual a 5 puntos.

2.4.2 Desarrollo de productos enlatados a partir del grano de sorgo perlado.

Se desarrollaron cuatro alimentos enlatados sin variación de los procedimientos tecnológicos establecidos en la industria conservera en el país, utilizando granos de sorgo perlados con un 29.9 % de grado de elaboración como materia prima fundamental, de esta forma se le dio una aplicación a este cereal como consumo directo similar al arroz.

Para la elaboración de los nuevos productos, se siguió la estrategia siguiente:

- 1- Se desarrolló un producto consumo directo, similar al arroz blanco cocido, (sorgo perlado sin la adición de saborizantes, frijoles, carnes u otro tipo de alimentos).
- 2- Se desarrollaron dos productos, uno con frijoles negros y el otro con carnes, ambos saborizados, similar al arroz con frijoles o con carnes.
- 3- Se desarrolló un cuarto producto dulce, similar al arroz con leche.

Se realizaron tres corridas experimentales y estas se llevaron a cabo con formulaciones desarrolladas para el arroz, en consideración al paladar de la cocina cubana y conteniendo los ingredientes aconsejados por Villapol, (1981). Los procedimientos tecnológicos de los diferentes productos se muestran a continuación:

Sorgo cocido.

Para la elaboración del producto se empleó la formulación que se ilustra en la tabla 16.

Las etapas tecnológicas utilizadas para el desarrollo del producto fueron:

- 1- Lavado del sorgo perlado con agua hasta obtener aguas de lavado claras.
- 2- Llenado de las latas de 500 g con el contenido de la proporción grano-líquido establecida en la formulación.
- 3- Tapado hermético de las latas.

**TABLA 16. Fórmula empleada para la elaboración del producto
sorgo cocido.**

Composición sólido - líquido en lata de 500 g

Sorgo perlado ----- 130g ----- 26%

Líquido----- 370 g ----- 74 %

Formulación del líquido

Agua potable -----96 %

Sal común----- 2 %

Aceite vegetal ----- 2 %

- 4- Cocción y esterilización en autoclave del producto enlatado durante 45 min a 121 °C.

Sorgo con frijol negro.

La formulación empleada para el desarrollo de este producto se muestra en la tabla 17. El procedimiento tecnológico usado para su desarrollo se describe a continuación:

- 1- Cocción de los frijoles negros, para ello se estableció una proporción de frijol / agua 1/2
- 2- La cocción fue realizada a presión durante 20 min aproximadamente.
- 3- Una vez cocidos los frijoles, se colaron para obtener por separado, los granos y el caldo.
- 4- El sorgo perlado se lavó con abundante agua hasta obtener las aguas de lavado claras.
- 5- Llenado de las latas de 500 g con el contenido de la proporción sorgo / frijol (cocido drenado) / salsa que se expresa en la fórmula.
- 6- Cocción y esterilización en autoclave 45 min a 121 °C.

Sorgo cocido con carne.

Para el desarrollo de este alimento se estableció la fórmula que se aprecia en la tabla 18. El procedimiento tecnológico utilizado para su realización se menciona a continuación:

- 1- Preparación de la salsa: Todos los ingredientes de la formulación se cocinan durante cinco minutos aproximadamente.
- 2- La carne se pica en pedacitos pequeños y se fríe hasta dorarla ligeramente.
- 3- Se lava el sorgo perlado con agua abundante hasta obtener un líquido claro.
- 4- Se llenan las latas, conteniendo las proporciones establecidas de cada componente.
- 5- Tapado hermético de las latas.
- 6- Cocción y esterilización en autoclave durante 60 min a 121 °C.

Sorgo con leche.

Este producto es similar al que se elabora con el arroz (arroz con leche), se confeccionó con la formulación que se muestra en la tabla 19. El procedimiento tecnológico seguido fue el siguiente:

TABLA 17. Fórmula utilizada en la preparación del producto sorgo con frijol negro.

Composición en la lata de 500 g

Sorgo perlado -----	130 g-----	26.53 %
Frijol negro -----	60 g-----	12.24 %
Salsa -----	300 g-----	61.22%

Formulación de la salsa

Caldo de frijoles negros-----	94.70 %
Sal común -----	2 %
Aceite vegetal-----	2 %
Ajo en polvo-----	0.3 %
Cebolla fresca (picada)-----	1 %

TABLA 18. Fórmula empleada en la elaboración del producto sorgo con carne.

Composición en latas de 500 g

Sorgo perlado-----	80 g -----	16 %
Carne de cerdo -----	80 g - -----	16 %
Aceite para freír -----	10 g-----	2 %
Cebolla fresca (picada) -----	20 g-----	4 %
Salsa -----	320 g -----	62 %

Formulación de la salsa

Agua potable -----	76 %
Vino seco -----	7 %
Puré de tomate -----	6 %
Aceite vegetal -----	4 %
Sal común-----	2 %
Salsa de soya -----	2 %
Ajo en polvo-----	1 %
Cebolla en polvo-----	1 %
Pimentón -----	0.5 %
Perejil-----	0.5 %

TABLA 19. Fórmula empleada para la elaboración del producto sorgo con leche.

Composición en latas de 500 g

Sorgo perlado cocido-----	30 %
Mezcla líquida de leche-----	70 %

Composición de la mezcla líquida de leche

Leche descremada en polvo -----	8 %
Azúcar refino -----	28 %
Canela en rama -----	0.1%
Almidón de maíz -----	3.5 %
Mantequilla sin sal-----	1.0 %
Sal común-----	0.2 %
Agua potable -----	59.2 %

- 1- El sorgo perlado una vez lavado correctamente, se cocinó en tachó por un tiempo de 60 min en proporción de: 1 kg de sorgo en 12 L de agua.
- 2- Paralelamente se prepara la mezcla líquida de leche dosificando las materias primas en el tachó con agua en ebullición, estas se cocinan hasta obtener un ligero espesor en la mezcla.
- 3- Se llenan las latas conteniendo las proporciones sólido / líquido establecidas.
- 4- Se esterilizan en autoclave 30 min a 121 °C.

Evaluación de los productos de sorgo enlatados.

Una vez obtenidos los productos se evaluaron sensorialmente en las tres corridas experimentales utilizando 80 consumidores potenciales. Se realizaron pruebas afectivas con una escala hedónica de 7 puntos con valores extremos para 7 y 1 de la escala: me gusta extremadamente y me disgusta extremadamente respectivamente, (anexo 2). Para cada producto, se estableció como criterio de aceptación, una puntuación igual o superior a 5 puntos.

2.4.3 Aplicación alimentaria del almidón de sorgo.

Para demostrar la aplicación alimentaria de este producto, se utilizó el almidón de sorgo obtenido en la elaboración de una panetela fina (tipo capuchino), al mismo nivel del que se utiliza con almidón de maíz en la fórmula tradicional para este tipo de dulce y siguiendo sin variación las etapas del proceso establecidas por ViHapol, (1981). Se realizaron tres corridas experimentales y se empleó la fórmula que se señala en la tabla 20. El procedimiento utilizado para el desarrollo de este alimento se expone a continuación:

- 1- Se mezclan en batidora planetaria el azúcar, los huevos y las yemas en las cantidades indicadas en la fórmula.
- 2- Seguidamente se le agrega el almidón de sorgo y se dispersa en la mezcla.
- 3- La mezcla o batido obtenido, se deposita en cada capachillos y posteriormente son horneados a 200 °C hasta que aparezca el color dorado en su superficie.
- 4- El producto horneado se emborracha con almíbar y se decora con merengue.

TABLA 20. Fórmula empleada para el producto panetela fina (Capuchinos)

<u>Ingredientes</u>	<u>Cantidad utilizada por batido</u>
Azúcar refino -----	60 gramos
Huevos enteros-----	2 unidades
Yemas de huevos-----	18 unidades
Almidón de sorgo -----	150 gramos

Evaluación de las panetelas finas elaboradas (Capuchinos).

Se prestó atención, a los posibles cambios que pudieran surgir en las etapas del proceso y en lo referente a las características externas e internas en los capuchinos elaborados.

El producto para su aprobación sensorial, se evaluó en cada corrida experimental por 80 consumidores potenciales empleando una escala hedónica de 7 puntos con valores extremos para 7 y 1 de la escala: me gusta extremadamente y me disgusta extremadamente respectivamente (anexo 2). Se prefijó igualmente como criterio de aceptación del producto, una puntuación igual o superior a 5 puntos.

2.5 Análisis económico preliminar del sorgo como sustituto de otros cereales en los productos desarrollados.

Para valorar la posible aplicación del sorgo como sustituto de otros cereales, se realizó una evaluación económica preliminar sobre la cantidad de divisas convertibles posibles de ahorrar, al sustituir parte de las materias primas de importación en los productos desarrollados, como fue el caso de la harina de trigo por la harina de sorgo producida en el presente trabajo o el almidón de sorgo por el almidón de maíz de uso tradicional.

En los análisis se tomaron las cotizaciones establecidas para estas materias primas en el mercado internacional del año 2002, así como el criterio del costo de producción del sorgo a nivel nacional informado por Canet y col., (2002).

2.6 Tratamiento matemático a los resultados obtenidos.

El procesamiento de los resultados obtenidos se realizó con una base de datos en el paquete estadístico para Windows versión 5.1 (1993). Mediante este programa se obtuvieron las ecuaciones matemáticas y los contornos de sus superficies de respuesta a cada uno de los diseños experimentales realizados.

En los experimentos que requerían comparación, se realizaron análisis de varianza de clasificación simple y en caso de detectarse diferencias significativas, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan con un nivel de significación $p < 0.05$ para comparar las medias.

Los restantes indicadores a los que no se les hicieron comparaciones, sólo se les calcularon las medias y las desviaciones estándar a partir de las réplicas de cada determinación.



CAPITULO 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Caracterización físico-química del grano integral de la variedad de sorgo ISIAP-DORADO.

La tabla 21 muestra los resultados obtenidos en la caracterización física realizada al grano integral de la variedad cubana ISIAP-DORADO. Se observa cómo el peso promedio de 1000 granos se encuentra en el rango de 26 a 30 g, cumpliendo con la característica establecida por el Codex Alimentarius para variedades comerciales de sorgo graníferos (FAO, 1994). El tamaño del grano se encuentra acorde con la norma para este cereal, lo que pudiera facilitar su manipulación tecnológica y el rendimiento en harinas, pues es un factor que directamente relaciona las proporciones en peso del endospermo y las capas externas de las envolturas. Es decir, mientras mayor sea el grano, tiene la posibilidad de poseer un endospermo más grande, pudiendo lograrse rendimientos superiores de harinas, si se destinara a la molienda.

La determinación del color no intenso (crema-amarillento) que presenta la envoltura del grano, permite suponer una buena calidad nutricional de esta variedad para el consumo humano, debido a que la intensidad del color en las capas externas, se encuentra claramente asociada a un incremento en los niveles de taninos presentes en el sorgo y estos componentes pueden afectar la digestibilidad de las proteínas y carbohidratos como señalaron Dreher y col., (1984) y Bach Knudsen y col., (1988).

Del estudio sobre la clasificación del endospermo, se percibe que la variedad cubana ISIAP-DORADO está constituida como promedio por un 25 % de proporción harinosa y 75 % cerosa. Este alto porcentaje de estructura vitrea pudiera contribuir a incrementar la resistencia del grano al fraccionamiento, si estos son sometidos a algún tratamiento abrasivo. Tal es el caso del proceso de perlado del grano, donde una mayor resistencia a la fragmentación, podría contribuir a la obtención de mayores rendimientos y menores cantidades de granos partidos. La visualización de los granos permitió definir su forma

TABLA 21. Comparación de las características físicas obtenidas para el grano de sorgo integral variedad cubana ISIAP-DORADO con el Codex Alimentarius.		
Características	Variedad ISIAP-DORADO ⁽¹⁾	CODEX / FAO ⁽²⁾
Color pericarpio	Crema- Amarillento	De blanco a rojo pardo intenso
Forma del grano	Esférica - ovoide	Variada e incluye la esférica ovoide
Tamaño (mm): Longitud Espesor	4.11 (0.03) 2.38 (0.02)	Diámetro entre 3 y 6 mm
Peso 1000 granos (g)	26.81 (0.04)	Entre 26 y 30 g
Clasificación endospermo	■ 75/25 % ceroso / harinoso	■ 100 % ceroso ■ 75/25 % ceroso / harinoso. ■ 50/50 % ceroso / harinoso.
Color grano integral	15.0 (0.02)	

(1) Valores medios de tres determinaciones, cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.
(2) Valores establecidos para sorgo de grano según Codex Alimentarius (FAO, 1994).