

EVALUACIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA HARINA DE SORGO(*Sorghum bicolor* (L.) Moench) PARA LA ELABORACIÓN DE UNA PASTA ALIMENTICIA

LILIANA PÉREZ LAVALLE

Código 107403



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Programa Interfacultades

Especialización en Ciencia y Tecnología de alimentos

Bogotá, 2010

EVALUACIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA HARINA DE SORGO(*Sorghum bicolor* (L.) Moench) PARA LA ELABORACIÓN DE UNA PASTA ALIMENTICIA

LILIANA PÉREZ LAVALLE

Código 107403

Trabajo Final presentado como requisito para optar el título de Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos



DIRECTORA:

NORMA CONSTANZA LÓPEZ

QUIMICA FARMACEUTICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Programa Interfacultades

Especialización en Ciencia y Tecnología de alimentos

Bogotá, 2010

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director

Bogotá, Junio de 2010

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 ASPECTOS GENERALES Y ECONOMÍA DEL SORGO	17
2.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SORGO	19
2.2.1 Almidón	21
2.2.2 Proteína	21
2.3 HARINAS COMPUESTAS	21
2.4 PASTAS ALIMENTICIAS	22
2.4.1 Criterios de calidad de las pastas alimenticias	22
2.4.2 Trigo durum(<i>triticum durum</i>)	23
2.4.3 Ingredientes utilizados en la elaboración de pastas alimenticias	24
2.4.3.1 Sémola de trigo	24
2.4.3.2 Agua	24
2.4.4 Proceso de elaboración	25
2.4.4.1 Mezclado	25
2.4.4.2 Amasado	25
2.4.4.3 Extrusión	25
2.4.4.4 Desecado	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28

3.1 MATERIALES	28
3.1.1 Materias primas	28
3.2 OBTENCIÓN DE LAS FRACCIONES DE HARINA DE SORGO	29
3.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA Y ALMIDÓN TOTAL	30
3.3.1 Selección de la fracción granulométrica para la elaboración de la pasta alimenticia.	30
3.4 DESARROLLO DEL PRODUCTO	30
3.4.1 Formulación y elaboración de la pasta alimenticia	31
3.5 DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DURANTE LA COCCIÓN	31
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 OBTENCIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA HARINA DE SORGO	33
4.1.1 Molienda de las semillas de sorgo	33
4.1.2 Tamizado de la harina de sorgo	34
4.2 CONTENIDO DE PROTEÍNA Y ALMIDÓN TOTAL DE LAS DIFERENTES FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS	35
4.3 SELECCIÓN DE LA FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA PARA LA ELABORACIÓN DE LA PASTA ALIMENTICIA	40
4.4 DESARROLLO DEL PRODUCTO	40
4.5 DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DURANTE LA COCCIÓN	41
5. CONCLUSIONES	46
6. RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Formulaciones para la elaboración de la pasta alimenticia	30
Tabla 2. Rendimiento de la harina de sorgo (%)	33
Tabla 3. Distribución de la harina de sorgo.	35
Tabla 4. Contenido de proteína y almidón en las diferentes fracciones granulométricas.	36
Tabla 5. Toht, A; et al (2005). Contenido de proteína de la harina original y de las diferentes fracciones de la harina.	37
Tabla 6. Bolade, M; et al (2009). Algunos constituyentes químicos de las fracciones de la harina de maíz.	38
Tabla 7. Moreyra; et al (1976). Composición química de las diferentes fracciones obtenidas en la molienda de quinua.	39
Tabla 8. Porcentaje de sólidos solubles e índice de absorción de agua de los niveles de inclusión de la pasta alimenticia.	42
Tabla 9. Petitot,M; et al (2010). Calidad durante la cocción.	44
Tabla 10. Granito, M; et al (2003). Prueba de cocción.	45

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

	Pág.
Diagrama 1. Procedimiento para la obtención de las fracciones de la harina de sorgo.	29
Diagrama 2. Elaboración de la pasta alimenticia.	31

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Pág
Imagen 1. Componentes anatómicas del grano de sorgo.	20
Imagen 2. Máquina extrusora de fideos.	40
Imagen 3. Proceso de secado.	41
Imagen 4. Niveles de inclusión de las pastas alimenticias	41
Imagen 5. Agua de cocción. Inclusiones 15% y 20%	43

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1. Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo, para el contenido de almidón.	51
Anexo 2. Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo, para el contenido de proteína.	52
Anexo 3. Método de comparaciones múltiples de diferencia mínima significativa (DMS). Promedios contenido de almidón.	53
Anexo 4. Método de comparaciones múltiples de diferencia mínima significativa (DMS). Promedios contenido de proteína.	54
Anexo 5. Análisis de varianza de un factor, para el porcentaje de sólidos solubles.	55
Anexo 6. Análisis de varianza de un factor, para el porcentaje de sólidos solubles.	56
Anexo 7. Método de comparaciones múltiples de diferencia Mínima significativa (DMS). Promedios Sólidos solubles.	57

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos

A la Doctora Norma Constanza López, por su optimismo, exigencia, consejo y apoyo incondicional en cada una de las etapas de la presente investigación.

Al programa de Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por su colaboración, para el desarrollo del proyecto.

A los Doctores Pedro Nel Pachecho y Ramón Matos, por sus aportes valiosos al diseño experimental y procesamiento de datos.

A los operarios del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA), por su eficiencia y colaboración desinteresada, la cual facilitó la ejecución oportuna del proyecto.

**A DIOS, MI AMIGO FIEL, POR ABRIR SIEMPRE LOS CAMINOS, PARA EL LOGRO
DE MIS METAS.**

**A MIS PADRES, FAMILIARES Y AMIGOS, POR SUS ORACIONES, APOYO,
CONSEJO Y ALEGRÍA, LOS CUALES FACILITAN EL SENDERO DE MI VIDA.**

LILIANA PÉREZ LAVALLE

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA HARINA DE SORGO(*Sorghum bicolor* (L.) Moench) PARA LA ELABORACIÓN DE UNA PASTA ALIMENTICIA

Se evaluaron algunas características químicas de las fracciones granulométricas de la harina de sorgo con el fin de elaborar una pasta alimenticia, mediante la determinación del contenido de proteína y almidón total. Los resultados muestran que de las seis fracciones obtenidas, las correspondientes al tamaño de partícula de 500 μm , 355 μm , y 150 μm , las cuales constituyen el 27,06%, 23,06% y 0,38% de la masa total de la harina original, presentaron el mayor porcentaje de proteína. De igual manera, se demuestra diferencias significativas ($p < 0,05$) en cuanto al porcentaje de almidón, encontrándose el mayor contenido en las últimas fracciones obtenidas (250 μm , 212 μm , 180 μm y 150 μm).

Para la elaboración de la pasta alimenticia, se sustituyó la sémola de trigo por harina de sorgo con tamaño de partícula de 355 μm en proporciones de 10%, 15% y 20%. Se seleccionó esta fracción debido a su buen contenido de proteína y granulometría similar a la sémola.

Se estudiaron propiedades funcionales como sólidos solubles (SS) e índice de absorción de agua (IAA) de los diferentes niveles de inclusión de la pasta alimenticia, encontrándose el menor porcentaje de SS en el nivel de inclusión del 10%. El índice de absorción de agua fue igual en todos los niveles de inclusión.

Palabras claves: sorgo, tamaño de partícula, proteína, almidón, pasta alimenticia.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE GRANULOMETRIC FRACTIONS OF THE SORGHUM (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) FLOUR FOR THE ELABORATION OF A PASTA

Chemical characteristics were evaluated of the granulometric fractions of sorghum flour in order to develop pasta, by determining the protein content and total starch. The results show that the six fractions obtained, corresponding to the particle size of 500 μm , 355 μm and 150 μm , which constitute 27.06%, 23.06% and 0.38% of the total mass of original flour, had the highest percentage of protein. Similarly, shows significant differences ($p < 0.05$) in the percentage of starch, the highest content found in the last fractions obtained (250 μm , 212 μm , 180 μm to 150 μm).

For the preparation of the pasta, was replaced wheat semolina by sorghum flour particle size of 355 μm in a ratio of 10, 15 and 20%. This fraction was selected due to his good content of protein and granulometry similar to the semola.

Functional properties were studied as soluble solids (SS) and water absorption index (WAI) of the different levels of inclusion the pasta, being the lowest percentage of SS at the inclusion level of 10%. The water absorption rate was the same in all levels of inclusion.

Key Words: sorghum, particle size, protein, starch, pasta.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el aumento de los precios de los alimentos, azota especialmente a la población de escasos recursos, empujando cada vez más a millones de personas al abismo de la pobreza. Esta situación se debe a una combinación de factores que incluyen: mayor crecimiento poblacional, aumento en la preferencia por la carne, productos lácteos, baja productividad agrícola, aumento en los costos de energía y la competencia por tierra para la producción de biocombustibles; lo cual afecta gravemente la seguridad alimentaria y nutricional de la población vulnerable.^{7,11}

Los cereales, al igual que otros alimentos, han tenido un incremento significativo en los precios; y se prevé según el Instituto Internacional de Cereales, que el desarrollo de biocarburantes provoque de seis a ocho años más de precios alcistas en la materia prima, hasta que se logren nuevos avances en la obtención de bioenergía vegetal, sin utilizar el grano de la planta.¹ Todo esto, sin tener en cuenta problemas tales como: cambios climáticos fuera de lo normal y la aparición de brotes de enfermedades en las plantas, lo cual incrementaría también la tensión de los precios.²⁸

La anterior situación es de consideración, debido a que, los cereales constituyen un alimento básico en todos los países del mundo y, a que en las zonas rurales de los países más pobres, estos alimentos proporcionan más del 50% de los requerimientos de energía total diaria.¹⁰

Frente a esta crisis alimentaria, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), al igual que otras entidades, vienen desde varios años trabajando y facilitando fondos para el desarrollo de productos elaborados a partir de cereales más económicos y fácilmente adaptables a regiones semiáridas, como es el caso del sorgo. Dentro de estos proyectos, se pueden mencionar el desarrollo de harinas compuestas y alternativas, el cual busca incentivar la producción de materias primas locales y reducir la importación de cereales en países en vías de desarrollo.^{10,12}

El sorgo, (*Sorghum bicolor* L.Moench), es un cereal que se conoce bajo varios nombres: *mijo grande* y *maíz de Guinea* en África occidental, *Kafir* en África Austral, *dura* en el Sudán, *mtama* en África oriental, *iowar* en la India y *Kaoliang* en China, en los Estados Unidos, se suele

denominar *milo* o *milo-maíz*.¹² Es considerado como el quinto cereal más importante del mundo, por el volumen de producción y superficie cultivada.¹⁸

Alrededor del 48% de la producción mundial de sorgo, se utiliza como pienso y el 42% se destina para consumo humano. En países en desarrollo (principalmente de Asia y África) se emplea como alimento, consumiéndose como grano entero o como harina, con la que se preparan platos tradicionales como: gachas consistentes o delgadas, pan plano con masa fermentada o sin fermentar. También, se elaboran preparados fritos en aceite y productos cocidos similares a los que se preparan con sémola de maíz o con arroz.¹⁸

En Colombia, al igual que otros países de Latinoamérica y del Caribe, el cultivo de sorgo para grano se utiliza básicamente para la elaboración de alimentos balanceados para animales; satisfaciendo una parte de las necesidades de la industria avícola y porcina.⁸ Este cereal se constituye, en una buena alternativa para la elaboración de productos destinados a la alimentación humana, debido a que, tiene un contenido de proteína casi igual y comparable al maíz y al trigo; así mismo, es una fuente rica en vitamina B, minerales, carbohidratos y está ausente de gluten, lo cual es deseable para las personas celiacas.¹² Adicionalmente, presenta una excelente adaptación a las regiones de clima cálido, es resistente a la sequía y otras condiciones adversas; por lo cual se pretenden realizar intentos para incluirlo en la alimentación humana. Para lograr este objetivo en Colombia, es necesario aumentar la producción de sorgo y ampliar su uso como alimento, volviéndose competente ante cereales como: el maíz y el trigo.

Teniendo en cuenta que en Colombia existen pocos estudios relacionados con el uso de sorgo para consumo humano; en el presente trabajo se realizó una evaluación de algunas propiedades químicas de las fracciones granulométricas de la harina de sorgo para la elaboración de un producto tipo pasta alimenticia. Lo anterior permitirá ampliar el uso del sorgo en la alimentación humana, debido a que en Colombia este cereal solo se utiliza para la elaboración de piensos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Estudiar algunas características químicas de las fracciones granulométricas de la harina sorgo para la elaboración de un producto tipo pasta alimenticia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el contenido de almidón y proteína de las fracciones granulométricas de la harina de sorgo.

- Seleccionar la fracción con mejor granulometría y características químicas, para ser incluida en un producto tipo pasta alimenticia.

- Estudiar el efecto de la inclusión de sorgo a niveles del 10%,15% y 20% en la estabilidad durante la cocción de la pasta alimenticia.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GENERALES Y ECONOMÍA DEL SORGO

El sorgo, (*Sorghum bicolor* L.Moench), es un cereal que pertenece a la tribu Andropogonae de la familia herbácea Poaceae. Conociéndose bajo varios nombres: *mijo grande y maíz de Guinea* en África occidental, *Kafir* en África Austral, *dura* en el Sudán, *mtama* en África oriental, *iowar* en la India y *Kaoliang* en China. En los Estados Unidos se suele denominar *milo o milo-maíz*.¹²

El sorgo granífero, parece haber llegado a América como “maíz de guinea” desde África occidental, con los tratantes de los esclavos alrededor de mediados del siglo XIX. En Colombia, la producción de sorgo para grano comenzó a fomentarse en 1957, cuando la empresa *Purina Colombiana*, sembró tres híbridos en la región algodonera de la costa atlántica.^{12,8}

Los granos de sorgo muestran una gran diversidad en color, forma, tamaño y en determinados aspectos de los componentes anatómicos. El grano de sorgo varía en el color que va desde el blanco a tonalidades oscuras de rojo y pardo, pasando por amarillo pálido, hasta pardo púrpura profundo. Los colores más comunes son el blanco, el bronce y el pardo. Los granos son por lo general esféricos, pero varían en dimensión y forma. La cariopsis puede ser redondeada y con puntas romas, de 4-8mm de diámetro. El peso de 1000 granos de sorgo tiene un amplio margen de variación, de 3 a 80g, pero en la mayoría de las variedades va de 25 a 30g. El grano está cubierto parcialmente de glumas.¹²

El sorgo es el quinto cereal más importante del mundo, por el volumen de producción y superficie cultivada. Aporta el 2,72 por ciento de la producción mundial total de cereales por debajo del maíz (29,83%), arroz (28,52%), trigo (27,69%) y cebada (6,48%). Aunque este porcentaje es bajo, en comparación con estos cereales, estos granos son vitales en los trópicos semiáridos, en donde muy pocos cultivos pueden crecer; constituyendo de esta forma la principal fuente de proteínas y energía para millones de personas en Asia y África.^{10,7,24}

En África occidental y central, el sorgo se cultiva en la faja comprendida entre el desierto del Sahara en el norte y los bosques ecuatoriales en el sur. En el África oriental y Austral, se cultiva en regiones más áridas, en las que las precipitaciones demasiosas escasas no permiten cultivar bien el maíz. Se resalta que, Nigeria y el Sudán, son los principales productores de África. En Asia, la producción está más concentrada desde el punto de vista geográfico y dos países China y la India producen el 94 por ciento del total regional.⁷

En los Estados Unidos y en América Central y del Sur el sorgo se cultiva fundamentalmente para utilizarlo como pienso para los animales. En la región de América Central y el Caribe, la producción está dominada por México (90 % de la producción regional total) y en América del Sur, se concentra en la Argentina (60 % del total de la región) y en las zonas áridas del Brasil, el norte de Colombia y Venezuela.^{18,24}

En América del Norte, se cultiva en las llanuras de las regiones centrales y meridionales de los Estados Unidos (principalmente en Kansas, Texas y Nebraska) donde la lluvia es escasa y variable. Estados Unidos, es el primer productor del mundo con más del 25 % de la producción total, siendo el principal exportador con un rendimiento de 4,87 toneladas por hectárea.^{18,24}

En Colombia, el cultivo de sorgo ha mostrado una tendencia de caída en su producción, con unos leves repuntes a partir del año 1998. La mayoría de las siembras de este cereal, se hacen en el segundo semestre del año, y los principales departamentos productores del país, son Tolima, que aportó el 37% del volumen anual en 2004, seguido por valle del cauca, con 18%, y Cesar, Huila y Sucre que en conjunto aportan el 22% de la producción nacional. Según la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y leguminosas(FENALCE), la productividad promedio está en 2,6 toneladas, y se espera que para la próxima década alcance las 4 toneladas por hectárea, que unidas a la incorporación de unas 25 mil hectáreas permitirán mantener la oferta para cubrir la demanda.^{21,13}

2.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SORGO.

El sorgo ha sido un elemento básico importante en la economía en las zonas tropicales semiáridas de Asia y África a lo largo de muchos siglos. Este cultivo sigue siendo todavía la fuente principal de energía, proteínas, vitaminas y minerales para millones de habitantes más pobres de esas regiones.¹²

Sus principales elementos anatómicos son el pericarpio, el germen o embrión y el endospermo, los cuales varían de un grano a otro. En el grano de sorgo el peso medio del pericarpio es del 6%, el endospermo del 84% y el germen del 10%.¹²

El pericarpio es el elemento estructural más externo de la cariopsis y se compone de tres subcapas, el epicarpio, el mesocarpio, y el endocarpio. El epicarpio se subdivide en epidermis e hipodermis. En la cariopsis del sorgo, la epidermis se compone de células gruesas, alargadas y rectangulares que tienen un revestimiento cutínico en la superficie exterior. En la epidermis está presente a menudo un pigmento. La hipodermis se compone de células ligeramente más pequeñas que la epidermis y tiene de una a tres capas de células de espesor. El mesocarpio y la parte media es la capa más gruesa del pericarpio del sorgo pero su espesor varía mucho entre los distintos genotipos. La resistencia del sorgo al moho está asociada con un mesocarpio delgado. A diferencia de otros cereales, el sorgo contiene granos de almidón en su pericarpio. El tamaño de estos gránulos oscila entre 1 y 4 μm . El endocarpio, que es la subcapa más interna del pericarpio se compone de células transversales y de una capa de células tubulares que transportan la humedad al grano.^{12, 17}

Justo debajo del endocarpio está la capa de la testa o revestimiento de la semilla. En algunos genotipos de sorgo la testa está muy pigmentada. El color y el pigmento son una característica genética. El espesor de la capa de la testa no es uniforme. En algunos genotipos, hay una testa parcial mientras que en otros no se ve a simple vista o no la hay.¹²

Seguido de esta capa se encuentra el endospermo, el cual constituye la mayor parte del grano. Este es un importante tejido de almacenaje compuesto de una aleurona y de zonas periféricas de textura córnea y harinosa. En todos los sorgos, la aleurona es una única capa que está inmediatamente debajo del revestimiento de la semilla o testa. Las

células de la aleurona son ricas en minerales, vitamina B, aceite, y también contienen enzimas hidrolizantes. El endospermo periférico se caracteriza por sus células rectangulares largas, que son muy compactas y que contienen gránulos amiláceos y sustancias proteínicas dentro de la matriz proteínica. En el sorgo el número de sustancias proteínicas baja a medida que aumenta su contenido amiláceo desde la zona periférica al núcleo central donde se halla localizado el endospermo harinoso.¹²

Las dos partes principales del germen son el eje embrionario y el escutelo. El escutelo es un tejido de almacenamiento, rico en lípidos, proteína, enzimas y minerales. El aceite presente en el germen de sorgo es rico en ácidos grasos poliinsaturados y análogo al aceite de maíz.¹²

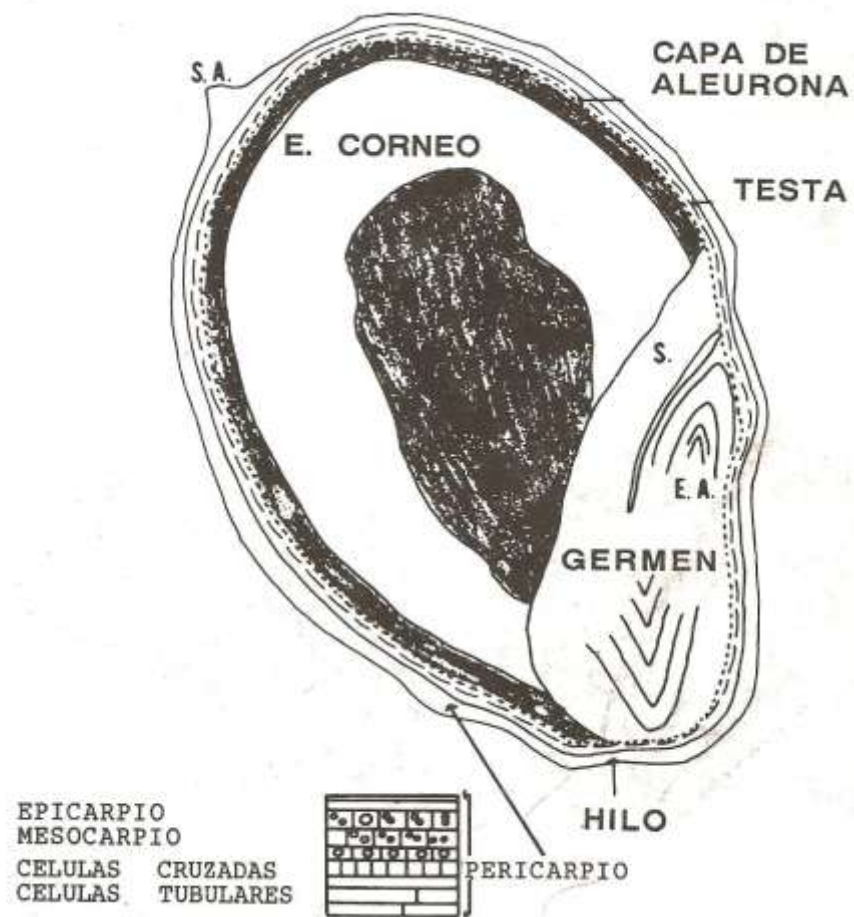


Imagen 1. Componentes anatómicos del grano de sorgo

Fuente: Hosney, R, (1991),¹⁷ autorizado por: Rooney, L,(1973).²³

2.2.1 ALMIDÓN

El almidón es la principal forma de almacenaje de carbohidratos en el sorgo. La digestibilidad del almidón en el grano de cereal determina el contenido energético disponible del grano, lo que depende de su hidrólisis por las enzimas pancreáticas.¹²

Con unos valores que van del 56 al 73%, el contenido medio de almidones del sorgo es el de 69,5%. Alrededor del 70-80% del almidón del sorgo es amilopectina, mientras que el restante 20-30% es amilosa. Factores tanto genéticos como ambientales influyen en el contenido de amilosa del sorgo. El sorgo ceroso o glutinoso es muy pobre en amilosa y su almidón consiste en 100% de amilopectina. Ahora bien, en el sorgo azucarado el contenido de amilosa del almidón es de un 5% a un 15% superior al del sorgo normal.¹²

2.2.2 PROTEÍNA

El segundo gran componente del grano es la proteína. El sorgo tiene un contenido medio de proteína de 10,4%, presentando una gran variabilidad, debido probablemente a que este cereal se cultiva en situaciones agroclimáticas diversas que influyen en la composición del grano. El contenido proteínico del grano también guarda una notable correlación con el peso del grano y el contenido de proteína. Las fluctuaciones en el contenido proteínico del grano van acompañadas por lo general de cambios en la composición aminoácida del grano y su proteína.¹²

2.3 HARINAS COMPUESTAS

En la actualidad, la mayoría de los países en vías de desarrollo dependen de la importación de trigo para la elaboración de diferentes productos, ya que por razones agroclimáticas este cereal solo se puede cultivar en pocos países; ocasionando un descenso en la economía de los países en desarrollo.¹⁰

Ante esta situación se han propuesto varias alternativas, una de las tantas es el uso de harinas compuestas. Estas harinas se pueden considerar en primer lugar como mezclas de harina de trigo y de harinas procedentes de otros cereales para la elaboración de productos horneados, tanto fermentados como no fermentados, y de pastas. En segundo lugar se pueden considerar como mezclas de harinas, no enteramente de trigo, o de otros productos para utilizarlos como sustitutos de las harinas en la elaboración de los distintos productos tanto tradicionales como de más reciente desarrollo.¹⁰

Las harinas compuestas además de reducir o eliminar el uso de trigo o de otra materia prima, también cumplen otro objetivo importante; el cual consiste en cambiar las características nutritivas del producto como, el enriquecimiento con proteínas, vitaminas y minerales.¹⁰

Como ejemplos de harinas compuestas, se pueden mencionar la elaboración de pan hecho con 70% de harina de trigo y un 30% de harina de sorgo. Tortillas preparadas con maíz amarillo y 15% de sorgo, entre otros.¹²

2.4 PASTAS ALIMENTICIAS

Pasta, o pastas alimenticias, son términos que describen un gran número de productos, elaborados principalmente por sémola de trigo duro y agua. Entre los ingredientes alternativos se incluyen la harina de patata (empleada en los ñoquis o gnocchi) y de maíz (en productos sin gluten). Entre los ingredientes adicionales se encuentran: huevo, colorantes naturales como las espinacas o el tomate y vitaminas.^{17, 12}

Los tipos más corrientes de pastas son los macarrones, spaghettis, fideos, y tallarines.¹⁰

2.4.1 CRITERIOS DE CALIDAD DE LAS PASTAS ALIMENTICIAS

La pasta no cocinada debe ser fuerte mecánicamente, de forma que conserve su tamaño y forma durante el empaquetamiento y transporte. Debe ser también de color amarillo uniforme. La aceptación por el consumidor ha estado fuertemente ligada al

color amarillo, traslúcido y uniforme. Por el cocinado en agua hirviendo, el producto debe mantener su forma y no abrirse y desmoronarse. Además, la pasta cocinada debe quedar firme al mordisco (calidad llamada <<al dente>>) y la superficie no debe ser pegajosa. El agua de cocción debe quedar libre de almidón. Finalmente, la pasta debe ser resistente al exceso de calor.¹⁷

2.4.2 TRIGO DURUM (*Triticum durum*)

Los trigos << durum >> son diferentes de los trigos comunes. Son tetraploides, mientras que los comunes son hexaploides. Los << durum >> son principalmente trigos de primavera, aunque también se conocen << durum >> de invierno. Son, generalmente de color ámbar, aunque en realidad son trigos blancos con el endospermo traslúcido que les da el aspecto ambarino. También se conocen trigos << durum >> rojos, pero se utilizan para piensos y no en la producción de semolina. Los trigos << durum >> son ricos en pigmentos carotenoides; los cuales le confieren a la pasta su color amarillo.¹⁷

Por lo general, los trigos << durum >> no sirven para panificación. El gluten del trigo << durum>>, suele ser más débil que el gluten del trigo común. Sin embargo, las variedades desarrolladas más recientemente, tienen el gluten más fuerte y por lo tanto producen piezas de pan mejores, aunque sea todavía pobres para los estándares de trigo común. Curiosamente, los << durum >> con gluten más fuerte producen pasta con el efecto << al dente>> más fuerte. Ocasionalmente, en algunas partes del mundo se pueden encontrar que se produce pan con trigos << durum >>.¹⁷

Probablemente la característica más sobresaliente de los trigos << durum >> es su dureza. El grano es físicamente muy duro, mucho más duro que los trigos duros comunes. Es molturable produciendo buenos rendimientos de semolina, que es la fracción media purificada del trigo << durum >>. El trigo << durum >> es tan duro que es difícil reducirlo hasta la finura de harina. Cuando se reduce a harina, el porcentaje de almidón lesionado es varias veces superior al que se produce en los trigos comunes. En el proceso de molturación del << durum >>, también se produce, pero por lo general es de valor inferior al de la semolina. Se suele utilizar para hacer <<noodles>>, pero también pueden utilizarse para hacer pasta; la harina de << durum >> suele dar

excelentes productos con la excepción de que no son tan resistentes al exceso de cocción, ni tienen color amarillo, como son los hechos con semolina.¹⁷

2.4.3 INGREDIENTES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE LAS PASTAS ALIMENTICIAS

2.4.3.1 SÉMOLA DE TRIGO

La sémola de trigo es el producto elaborado con granos de trigo duro (*Triticum durum*), por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa la mayor parte del salvado y el germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura.¹³

A pesar de que la granulometría de la sémola de trigo duro osciló durante varias décadas entre 630 μ m y 125 μ m, en estos momentos se está procesando sémola más fina, con un tamaño de partícula inferior a 355 μ m, junto con una parte de harina. Esta tendencia ha sido influenciada, por un lado, por la perspectiva de que se requiere un tiempo de mezcla más corto cuanto más fina fuera la materia prima, y por otro, por las nuevas líneas de producción de pasta basadas en las nuevas tecnologías que requieren sémola más fina como materia prima.¹⁹

La norma del Codex Alimentarius para sémola de trigo duro, reglamenta que máximo el 79% deberá pasar a través de una gasa de seda de 315 μ m o de un tamiz textil sintético¹³

2.4.3.2 AGUA

El agua utilizada en el proceso debe ser un agua potable de alta calidad, libre de contaminantes microbiológicos y químicos.¹⁹

2.4.4 PROCESO DE ELABORACIÓN

2.4.4.1 MEZCLADO

La primera etapa para formar la pasta incluye la hidratación de la sémola de trigo. La cantidad de agua que debe añadirse es variable, si bien la masa final debería contener del 28% al 30% de humedad(p/p).^{10,19}

La mezcla tiene como objetivo permitir que el gluten de la sémola pase de ser un material vítreo a un material gomoso y elástico, que adquiera la capacidad de formar cadenas y láminas mediante establecimiento de puentes intermoleculares. Esta matriz proteica atrapa y encapsula al almidón manteniendo la forma del producto durante su elaboración y cocción.¹⁹

2.4.4.2 AMASADO

Esta operación se refiere a la homogenización a presión del material mezclado, reforzándose aún más la red proteica que se había creado previamente durante la mezcla. El amasado debe continuar hasta que la masa adquiera cierta firmeza de manera que cuando se apriete con la mano la masa se mantenga unida.^{10, 19}

2.4.4.3 EXTRUSIÓN

Esta operación tiene como propósito dar a la pasta la forma deseada. La masa puede enrollarse en forma de láminas (y cortado en hebras) o extruirse a través de un extrusor de tornillo único. La masa se comprime a la vez que progresa entre las hendiduras cada vez más estrechas del tornillo o a medida que sale a través de los finos orificios de una matriz revestida de teflón. La elevada fuerza de cizalla hace que los gránulos de almidón de la masa se orienten en la dirección del flujo de la masa y hace que aparezca el gluten formando una matriz proteica de carácter discontinuo que rodea de forma desigual al almidón.¹⁰

La pasta extruida se corta mediante una cuchilla giratoria que se coloca en la superficie externa de la matriz. En la etapa de extrusión es importante controlar el aumento en la

temperatura de la masa para evitar posteriores defectos en la pasta. Ya que si esta sufre un excesivo incremento de temperatura, la proteína se desnaturaliza irreversiblemente, adquiriendo características deficientes para la cocción.¹⁰

La temperatura del cuerpo del extrusor y de la matriz deben mantenerse, en consecuencia, a unos 45°C.¹⁰

2.4.4.4 DESECADO

Esta etapa tiene como propósito asegurar la estabilidad microbiológica y bioquímica del producto. La mayor parte de la pasta comercial se deseca desde alrededor del 30% de humedad hasta el 10-12%(p/p). La desecación debe realizarse lentamente y con gran cuidado ya que la pasta se contrae a medida que se deseca. Las desecaciones desiguales hacen que se desencadenen presiones dentro de la pasta lo que origina que se produzcan agrietamientos en la pasta desecada.¹⁰

La desecación puede realizarse en cualquiera de los numerosos desecadores existentes en el mercado, los cuales se dividen en dos clases según utilicen procesos de baja o alta temperatura (HT, del inglés *high temperature*). También se han utilizado con éxito para trozos o piezas pequeñas de pasta, desecadores que utilizan la energía de microondas.¹⁰

El control de la temperatura durante el secado también es útil para modificar dos propiedades clave de la pasta: la textura tras la hidratación y el cocinado, y el color.

En un secadero con temperatura elevada, la coagulación de la proteína por el calor creará una red proteica permanente alrededor de los gránulos de almidón con una fuerza e integridad realzadas. Esto evitará que los gránulos de almidón pasen al agua de cocción y mejorará la firmeza y << consistencia durante la masticación >> de la pasta después de la cocción. Lo anterior es debido a que a temperatura ambiente, el gluten húmedo es un material extremadamente elástico, muy similar a la goma de mascar. A medida que la temperatura sube hasta 55°C, el gluten se convierte en un gel duro pero consistente y masticable, similar a la carne cocida.¹⁹

Adicionalmente, a temperaturas próximas a 70°C se inactiva la enzima lipooxigenasa, la cual es responsable del blanqueamiento de los pigmentos carotenoides naranjas, que se encuentran de forma natural en el grano; contribuyendo a conservar el pigmento amarillo presente en la pasta.¹⁹

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se dividió en dos partes:

Primera:

Molienda y tamizado del sorgo.

Determinación de proteína y almidón total de las diferentes fracciones granulométricas obtenidas.

Segunda:

Selección de la mejor fracción granulométrica.

Elaboración de pasta alimenticia con inclusiones de harina de sorgo en niveles del 10%, 15% y 20%.

Determinación de la estabilidad durante la cocción de las pastas alimenticias.

3.1 MATERIALES

3.1.1 Materias Primas

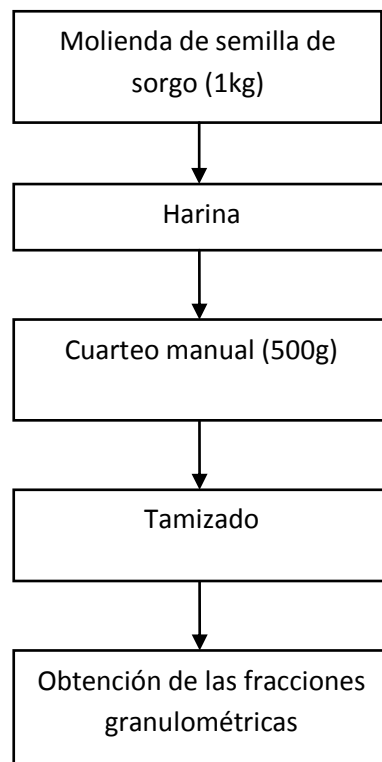
- Harina de Sorgo
Se obtuvo a partir de la molienda con martillos de las semillas de sorgo granífero, híbridos HF-895 de la Casa Comercial CRISTIANI BURKARD S.A. producido en Texas, EE-UU e importados y distribuidos por la empresa Andinesa con sede en Cali, Colombia. Se trabajó con un único lote de este tipo de semilla.⁵

- Sémola de trigo
Se obtuvo de Molinos La Aurora, Bogotá (Colombia)

3.2 OBTENCIÓN DE LAS FRACCIONES DE LA HARINA DE SORGO

Se molieron tres lotes cada uno de 1,00 kg de semillas de sorgo granífero-hibrido HF-895, en un molino de martillos Fitz Mill Illinois 60126 Modelo D con malla de 1mm. De cada kilogramo de sorgo molido, se tomaron 500g por el método de cuarteo manual, para su posterior tamizado en el equipo Ro Tap Tyler el cual consta de seis tamices(N° 35, 45, 60, 70, 80,100), con tamaño de partícula de 500 μm , 355 μm , 250 μm , 212 μm , 180 μm y 150 μm respectivamente.

Diagrama 1: Procedimiento para la obtención de las fracciones de la Harina se sorgo.



3.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA Y ALMIDÓN TOTAL

A cada fracción de harina de sorgo obtenida se le determinó el contenido de proteína y almidón con base en los siguientes métodos:

ANÁLISIS	MÉTODO
Proteína	AOAC 920.87 ²
Almidón Total	Goñi y colaboradores ¹⁵

3.3.1 SELECCIÓN DE LA FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA PARA LA ELABORACIÓN DE LA PASTA ALIMENTICIA

La selección la fracción granulométrica de la harina de sorgo se hizo con base a los siguientes criterios: 1.) buen contenido de proteína y almidón. 2.) granulometría semejante a la sémola de trigo.

3.4 DESAROLLO DEL PRODUCTO

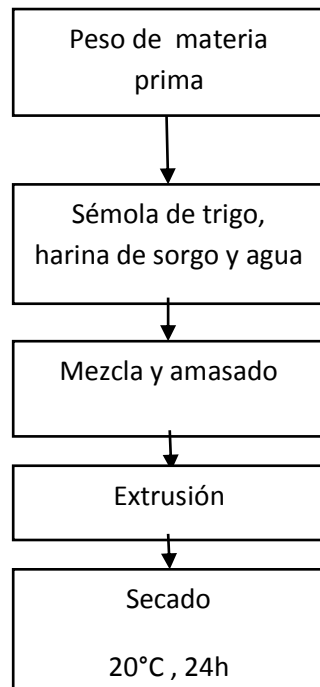
3.4.1 Formulación y elaboración de la pasta alimenticia

Para la elaboración de la pasta se tuvo en cuenta la siguiente formulación:

Tabla 1. Formulaciones para la elaboración de la Pasta Alimenticia

Ingredientes	%Inclusión			Control
	10	15	20	
Sémola de trigo(g)	90	85	80	100
Harina de sorgo(g)	10	15	20	-----
Agua(ml)	35	35	35	35

Diagrama 2. Elaboración de la Pasta alimenticia



3.5 DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DURANTE LA COCCIÓN

Para evaluar la calidad de la pasta alimenticia se determinó la estabilidad durante la cocción de los diferentes niveles de inclusión. Peso de la pasta cocida y pérdida de sólidos.

Se pesaron aproximadamente 20g de pasta y se llevaron a un beaker que contenía 250ml de agua destilada en ebullición durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo se pesó la pasta cocida y se reportó su peso en relación a la pasta seca. En el agua de cocción se observó la turbidez y el aspecto. Para la determinación del porcentaje de sólidos solubles se tomó una alícuota de 10ml del agua de cocción y se secó a peso constante en una estufa a 110°C, se pesó el residuo y se reportó en relación al peso de la pasta seca.^{4,25}

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El procesamiento de los datos (contenido de proteína y almidón de las fracciones granulométricas), siguió el diseño para el caso cuando se consideran dos factores. En este caso, un factor de tratamiento(tamices) y un factor de control(corridas o número de tamizados). Siguiendo el modelo:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \square_j + \epsilon_{ij},$$

$$i = 1,2,3,4,5,6$$

$$j = 1,2,3$$

En donde Y , se considera el contenido de proteína y almidón de las seis fracciones granulométricas, μ , la media general, T_i , el efecto del tratamiento, \square_j , el efecto de las corridas, ϵ_{ij} , el error experimental.

Los datos (Porcentaje de proteína y almidón de dieciocho fracciones obtenidas a partir de tres tamizados) fueron evaluados, a través de la técnica de análisis de varianza(ANOVA), para un diseño de bloques completos al azar, usando como soporte Microsoft Office Excel 2007.

Los datos que presentaron diferencia significativa, se evaluaron mediante la técnica de DMS(Diferencia Mínima Significativa), para establecer el tratamiento con mayor contenido de proteína y almidón.

De igual manera, se realizó por triplicado la prueba de estabilidad durante la cocción, para cada nivel de inclusión de las pastas alimenticias, aplicando un análisis de varianza y una DMS a los datos obtenidos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 OBTENCIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DE LA HARINA DE SORGO

4.1.1 MOLIENDA DE LAS SEMILLAS DE SORGO.

Para reducir el tamaño de partícula del sorgo se utilizó un molino de martillos. El cual consiste en hojas afiladas de acero inoxidable que rotan rápidamente dentro de un cilindro cerrado y con una apertura cubierta por un tamiz en su parte inferior. El tamiz puede ser fijo o intercambiable. El tamaño de partícula de la harina, depende de la velocidad de rotor, tamaño del tamiz, y velocidad de introducción del material.¹²

En la tabla 2, se puede observar que en la molienda de martillos, se obtuvo un rendimiento promedio de harina de sorgo correspondiente a 96,6% y una pérdida de 3,3%. Se obtuvo harina integral de color rojo, característico del pigmento original de la semilla. Las pérdidas por molienda, muy probablemente se debieron al calentamiento que generalmente ocurre por la fricción y movimiento del material dentro del molino durante el proceso. Lo cual ocasiona migración de humedad al aire y por ende se reduce el peso. Adicionalmente, el aumento de la merma, se debe a la pérdida de partículas muy finas hacia la atmósfera.

Tabla 2. Rendimiento de la harina de sorgo(%)

Molienda	Harina de sorgo	Pérdidas por molienda
N°1	96	4
N°2	96	4
N°3	98	2
Promedio	96,6±1,1	3,3±1,1

Sin embargo, para obtener una harina más fina, no integral y de mejor color, se debe proceder a hacer una decorticación antes de la molienda en molino de martillos; esto es, la eliminación de la <<corteza>> o capas exteriores del grano. El anterior procedimiento, se puede lograr mediante descortezadores abrasivos o mediante técnicas de frotamiento.^{6,12}

En comparación con la molienda con martillos; en la molienda de sorgo, llevada a cabo con un molino de rodillos, se producen rendimientos de harina de sorgo que oscilan entre 72 y 84%. Adicionalmente, con el sistema de rodillos, se debe realizar una molienda semihúmeda, añadiendo un 20% de humedad y acondicionando el grano durante seis horas. Este proceso implica un costo adicional, pero es necesario si se requiere hacer una molturación con rodillos, ya que la molturación seca, rompe el pericarpio en varios trozos, los cuales son demasiado frágiles para separarse del endospermo. Aunque la ventaja con este tipo de molino, es que se evita el proceso de decorticación. A su vez, permite darle a la harina una vida útil más prolongada, ya que se produce una separación del germen, el cual suele conducir al rápido enranciamiento de la harina.^{12,17}

4.1.2 TAMIZADO DE LA HARINA DE SORGO

El tamaño de los orificios de la malla que cubre la salida del molino, determina el tamaño de las partículas de la harina. En este caso, se utilizó una malla de 1mm.

En la tabla 3, se puede observar que el mayor porcentaje de harina, corresponde al tamaño de partícula de 500 μm con un promedio de 27,06%; seguido de la fracción de 355 μm con un 23,06%. Así mismo, se presenta un porcentaje considerable de harina de sorgo que corresponde a tamaños de partícula superiores a 500 μm .

Esta mayor proporción de harina de tamaño de partícula grueso, puede ser modificada, si se desea, utilizando un proceso de molienda húmeda, ya que el proceso de atemperado produce un ablandamiento del endospermo, lo cual facilita la molturación y por ende una mayor obtención de harina fina. Adicionalmente, puede usarse otra criba, diferente a 1mm, para cambiar la granulometría deseada.

Sin embargo, con la distribución de tamaño lograda en este trabajo, se pudo seleccionar una fracción adecuada tanto en rendimiento como en tamaño de partícula, para ser usada en la elaboración de pasta alimenticia.

Las pérdidas por tamizado (15,49%), se atribuyen al proceso de limpieza en cada tamizado.

Tabla 3. **Distribución de la harina de sorgo.**

Distribución de la harina(%)					
Tamices (N°)	Tamaño de partícula (µm)	Tamizado N°1	Tamizado N°2	Tamizado N°3	Promedio
	>500	17,06	23,06	21,26	20,46
35	500	29,06	25,06	27,06	27,06
45	355	23,06	23,06	23,06	23,06
60	250	5,74	3,42	4,56	4,57
70	212	3,08	4,98	3,74	3,93
80	180	4,64	5,70	4,76	5,03
100	150	0,57	0,38	0,20	0,38
	Pérdidas por tamizado	16,78	14,34	15,36	15,49

4.2 CONTENIDO DE PROTEÍNA Y ALMIDÓN TOTAL DE LAS DIFERENTES FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS

El contenido de proteína y almidón total de las diferentes fracciones de la harina de sorgo se muestra en la tabla 4. En cuanto al contenido de almidón, se demuestra con una $p < 0.05$ que existe diferencia significativa entre las diferentes fracciones obtenidas. Presentando las últimas

fracciones obtenidas (250 μm , 212 μm , 180 μm y 150 μm), el más alto contenido de almidón. De igual manera, se presenta una diferencia significativa en cuanto al contenido de proteína de estas fracciones, con un valor de $p < 0.05$. Presentando, la harina de sorgo con tamaño de partícula de 500 μm , el mayor porcentaje de proteína (11,15%), seguido de las fracciones de 355 μm y 150 μm .

Tabla 4. Contenido de proteína y almidón en las diferentes fracciones granulométricas.

Fracción		
Tamaño de partícula (μm)	Almidón (%)	Proteína (%)
500	53,10 \pm 3,37 ^{ac}	11,15 \pm 0,33 ^a
355	51,43 \pm 4,95 ^a	8,83 \pm 0,50 ^b
250	60,57 \pm 3,50 ^b	8,03 \pm 0,27 ^c
212	59,32 \pm 7,04 ^{cb}	7,89 \pm 0,47 ^c
180	60,85 \pm 4,30 ^b	7,88 \pm 0,37 ^c
150	60,64 \pm 8,89 ^b	8,43 \pm 0,17 ^{bd}

Promedios (n=3)

* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

El mayor contenido de proteína, presente en los tamaños de partícula más grandes, es probablemente debido a que como se realizó una molturación seca de las semillas de sorgo, no se produjo un buen fraccionamiento del endospermo, en sus componentes químicos almidón y proteína. Componiéndose las partículas de mayor tamaño, fundamentalmente de almidón embebido en matriz proteica, igual como ocurriría con el endospermo intacto.¹⁷

En cuanto al contenido de almidón, se presume de igual manera, que como el grano de sorgo presenta un endospermo córneo y uno harinoso, las partículas de mayor tamaño

corresponden al primero, ya que este presenta una textura más dura, lo cual dificulta la reducción de tamaño, cuando no se lleva a cabo un proceso de atemperado. En este caso las partículas de menor tamaño estarían compuestas por endospermo harinoso. Adicionalmente, las fracciones de menor tamaño, estarían también compuestas por pequeños trozos de pericarpio, los cuales a su vez incrementan el contenido de almidón en las últimas fracciones; ya que como se había mencionado, el sorgo, a diferencia de otros cereales, contiene granos de almidón en su pericarpio que oscilan entre 1 y 4 μm . Esta distribución del pericarpio en las últimas fracciones, también se le atribuye al tipo de molturación, ya que otro objetivo del atemperado en la molienda húmeda, es poner correoso al salvado para que se resista a ser dividido en pequeños trozos durante la molturación.¹⁷

En comparación con otros autores, Toht, A; et al (2005)²⁶ encontraron un mayor contenido de proteína en la harina de trigo de invierno obtenida a partir de molienda con rodillos, a medida que disminuía el tamaño de partícula.

Tabla 5. Toht, A; et al (2005)²⁶. Contenido de proteína de la harina original y de las diferentes fracciones de harina.

Fractions (μm)	Protein content (%)	
	Aver.	Sdev.
Original flour		
(0–250)	14.0	0.1
250–200	13.1	0.2
200–160	13.0	0.1
160–125	13.4	0.2
125–90	13.9	0.1
90–63	15.5	0.0
<63	15.5	0.1
LSD _{P=0.05}	0.21	
P level	0.000	

Promedios (n=3)

Igualmente, Bolade, M, et al(2009)³, encontraron un aumento en el contenido de proteína en harina de maíz, en proporción a la disminución del tamaño de partícula. Observándose el mayor porcentaje en las fracciones de 75-150 μm .

Tabla 6. Bolade, M, et al(2009)³. Algunos constituyentes químicos de las fracciones de la harina de maíz.

Flour fraction (μm)	Selected parameter (%)*				
	Moisture content	Protein	Ash	Crude fibre	Damaged starch
<75	9.4 \pm 0.1 ^d	2.9 \pm 0.1 ^d	0.80 \pm 0.08 ^b	0.73 \pm 0.06 ^b	17.4 \pm 0.2 ^a
75–150	9.6 \pm 0.1 ^c	4 \pm 0.2 ^a	0.80 \pm 0.06 ^b	0.75 \pm 0.05 ^b	16.6 \pm 0.2 ^b
150–300	9.9 \pm 0.1 ^b	3.8 \pm 0.1 ^{ab}	0.89 \pm 0.11 ^{ab}	0.80 \pm 0.04 ^{ab}	15.8 \pm 0.1 ^c
300–425	10.1 \pm 0.1 ^a	3.7 \pm 0.1 ^b	0.97 \pm 0.05 ^a	0.91 \pm 0.08 ^a	10.1 \pm 0.3 ^e
<425 (whole meal)	10 \pm 0.1 ^{ab}	3.3 \pm 0.2 ^c	0.93 \pm 0.06 ^{ab}	0.87 \pm 0.07 ^a	12.2 \pm 0.4 ^d

Los resultados de esos autores difieren con los obtenidos en el presente trabajo, debido probablemente a los tamices utilizados. Cabe resaltar que en la fracción correspondiente a 150 μm , se observa un leve incremento de proteína en la harina de sorgo; el cual es estadísticamente igual a la fracción de 355 μm . Ver Tabla 4. Muy seguramente, si se hubiera usado tamices con aberturas inferiores a 150 μm , se hubieran obtenido porcentajes más altos de proteína en las últimas fracciones.

Lo anterior, es debido a que partículas más pequeñas están compuestas por trozos de matriz proteica o pequeños granos de almidón con proteína adherida, siendo más ricas en proteína¹⁷

Toht, A; et al (2005)²⁶, argumentan que en trigo, el mayor porcentaje de proteína obtenido en la última fracción (>63 μm), se debe a que el salvado y la capa de aleurona rica en proteína quedaron distribuidas en las últimas fracciones.

Bolade, M, et al(2009)³, expresan que el incremento de proteína en las partículas más pequeñas, se debe a que la unión de la matriz proteica con los gránulos de almidón de mayor tamaño, es más débil que con los gránulos de tamaño inferior, distribuyéndose la mayor parte de proteína en las últimas fracciones.

En contraste con estos autores, los resultados obtenidos en el presente proyecto, son similares a los obtenidos por Moreyra et al(1976)²⁰, los cuales encontraron en harina de quinua(un pseudocereal), un mayor contenido de proteína y menos almidón en las fracciones de mayor granulometría. A su vez, el mayor porcentaje de carbohidratos correspondió a las fracciones más finas. Ver tabla 7.

Tabla 7. Moreyra et al(1976)²⁰ Composición química de las diferentes fracciones obtenidas en la molienda de quinua.

Análisis bromatológico	Variedad Kancolla			Variedad Sajama		
	Afrecho	Harina gruesa	Harina fina	Afrecho	Harina gruesa	Harina fina
Humedad	11,88	12,20	12,34	8,99	9,11	9,67
Proteína	14,25	11,61	7,70	13,80	13,85	11,50
Grasa	7,70	6,32	4,30	5,70	5,82	5,50
Fibra	4,50	2,02	0,69	2,80	2,32	1,20
Ceniza	3,30	2,41	1,50	2,20	2,15	1,80
Carbohidratos	58,37	65,41	73,47	66,60	66,73	70,3

Estos autores expresan, que el mayor contenido de proteína, grasa, fibra, cenizas en harina de quinua, se presentan en las fracciones de mayor granulometría (aquellas compuestas de una mayor cantidad de cáscara), debido a que en la primera capa (episperma) se concentra la mayor cantidad de estos compuestos. Por el contrario, en la parte interna del grano (perisperma), se encuentran los almidones en mayor proporción.

4.3 SELECCIÓN DE LA FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA PARA LA ELABORACIÓN DE LA PASTA ALIMENTICIA

Se escogió la fracción de harina de sorgo con base en dos criterios: porcentaje de proteína y granulometría similar a la sémola. Seleccionándose la harina de sorgo con tamaño de partícula de 355 μm , ya que presenta un 8,83% de proteína y granulometría parecida a la sémola.

4.4 DESARROLLO DEL PRODUCTO

La pasta se elaboró a partir de la sémola de trigo, siguiendo las formulaciones de la tabla 1 (135g de mezcla) y la metodología, de acuerdo al diagrama 2. Se dejó 30min en reposo para permitir la hidratación de la mezcla. Luego se uso la máquina que se observa en la imagen 2, para la extrusión de la pasta en forma de fideos. La extrusión y el secado se hicieron a temperatura ambiente (20°C en Bogotá). Ver imagen 3.



Imagen 2. Máquina extrusora de fideos.



Imagen 3. Proceso de Secado

Se puede observar en la imagen 4, que a medida que aumentó el nivel de inclusión de de harina de sorgo, se incrementaba el color rosado de las pastas alimenticias. Lo anterior, fue debido al color rojo que presentaban las semillas de sorgo. No se observaron partículas de color café que indiquen la presencia de pericarpio, ni manchas de color blanco que demuestren que hubo una mezcla no homogénea.



Imagen 4. Niveles de inclusión de las pastas alimenticias

4.5 DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DURANTE LA COCCIÓN

El porcentaje de sólidos solubles (SS) e índice de absorción de agua (IAA) de los distintos niveles de inclusión de la pasta se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje de sólidos solubles e índice de absorción de agua de los niveles de inclusión de la pasta alimenticia.

Análisis		
Tratamiento	% SS	%IAA
Inclusión 10% de harina de sorgo	0,25 ± 0,01 ^a	256,81 ± 9,55 ^a
Inclusión 15% de harina de sorgo	0,33 ± 0,02 ^b	259,72 ± 18,83 ^a
Inclusión 20% de harina de sorgo	0,35 ± 0,03 ^b	277,60 ± 3,97 ^a
Sémola(pasta control)	0,26 ± 0,02 ^a	275,57 ± 2,73 ^a

Promedios (n=3)

* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

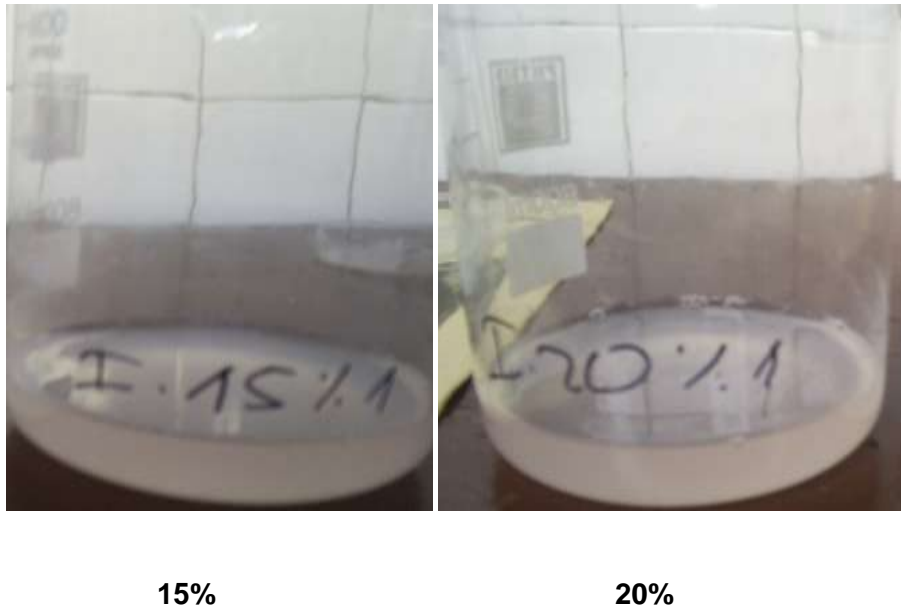
En cuanto al contenido de sólidos solubles, se demuestra una diferencia significativa, con un valor de $p < 0.05$. Presentando las pastas elaboradas con las inclusiones de 20% y 15% el mayor porcentaje de sólidos solubles, en comparación con la pasta control.

Lo anterior, es debido a que las proteínas del trigo durum, principalmente gluteninas y gliadinas(escasamente solubles en agua), forman puentes disulfuro intra e intermoleculares durante el proceso de elaboración de la pasta. Lo cual conduce a la formación de una red de gluten de tres dimensiones que atrapa y encapsula el almidón, permitiendo la conservación del producto durante su cocción.^{19, 21, 14}

Adicionalmente, las proteínas de todos los cereales, con excepción del trigo, no poseen las proteínas que conforman el gluten, el cual da las características especiales a la masa, para la elaboración de productos como el pan y la pasta. Entre estas características se encuentra la extensibilidad y las propiedades viscoelásticas.

Por lo tanto, la mayor adición del sorgo, material que no aporta gluten, en las últimas inclusiones probablemente disminuyó la fuerza del gluten, debilitando la estructura general de los fideos. Lo que conllevó a la disolución del almidón en el agua de cocción. Ver imagen 5.

Imagen 5. Agua de cocción. Inclusiones



Por el contrario, la pasta con la inclusión del 10% tuvo un porcentaje de sólidos solubles igual a la pasta control. Lo que indica, que esta cantidad de sorgo, no produce una disminución importante en el contenido de gluten, que afecte la calidad de la pasta.

Con respecto al índice de absorción de agua, no se presentaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre los diferentes niveles de inclusión y la pasta control.

En comparación con otros autores, Petitot, M; et al (2010)²², elaboraron pastas alimenticias con harina de guisantes y habas con el objetivo de aumentar la calidad nutricional del producto. Los resultados obtenidos por estos autores, en cuanto a las pérdidas por cocción y absorción de agua, se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Petitot, M; et al (2010)²². Calidad durante la cocción.

Ingredientes	%SS	%IAA
65% de semolina + 35% de harina de guisante	7.0 ± 0.6	166 ± 6
	5.6 ± 0.3	168 ± 7
	6.1 ± 0.5	150 ± 3
65% de semolina + 35% de harina de haba	6.8 ± 0.8	166 ± 6
	5.8 ± 0.4	169 ± 6
	5.9 ± 0.6	139 ± 7

Con respecto al porcentaje de sólidos solubles, este mayor porcentaje, se debe probablemente al incremento en el nivel de inclusión (35%), lo cual difiere mucho de los resultados obtenidos en el presente proyecto. Ya con el nivel de inclusión del 20% de harina de sorgo, se presentan pérdidas de 0,35% de sólidos solubles. Adicionalmente, la disminución en la absorción de agua, se debe al menor tiempo de cocción utilizado por estos autores, el cual corresponde a 8,5min.

La sustitución de la sémola, por otros ingredientes, representa una disminución en el contenido de gluten y por ende una pasta de calidad diferente. Esto se puede corroborar con los resultados obtenidos por Torres, A, et al (2009)²⁷, quienes elaboraron una pasta alimenticia con germen desengrasado de maíz, a un nivel de inclusión del 25%, obteniendo una pérdida de sólidos solubles del 82% en relación a la pasta control.

Adicionalmente, la mayor pérdida de sólidos solubles obtenida por Torres, A, et al (2009)²³, se debe posiblemente a la granulometría de la harina de maíz usada, la cual correspondió a 180 µm. Esto probablemente, permitió una mayor hidratación en la harina de maíz, en comparación con la sémola de trigo, ya que a menor tamaño de partícula, se produce una hidratación más rápida de la harina. Esto seguramente conllevó a la formación de una masa no homogénea, que se disolvió al momento de la cocción.

Granito, M, et al (2003)¹⁶, elaboraron pastas alimenticias con trigo, maíz, yuca y frijol, los resultados de las pruebas de cocción, se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Granito, M, et al (2003)¹⁶. Pruebas de cocción

Ingredientes	%SS
P2. 45% S, 20% HGDM, 15% FO, 19,50% AY, 0,5% SSL	14,40
P6. 45% S, 20% HGDM, 15% FO, 19,50% AY, 0,5% SSL	29,63

ST: Sémola de trigo, HDGM: Harina de germen desengrasado de maíz, FO: Frijol orituco, AY: Almidón yuca, SSL: estearoil lactilato sódico.

Las altas pérdidas por cocción, fueron debidas probablemente a que el almidón de estas pastas se hidrató, pero posteriormente se solubilizó y pasó al agua de cocción, al no haber una matriz proteica suficientemente fuerte para retener el almidón gelatinizado.¹⁶

5. CONCLUSIONES

1. En la molienda de sorgo, en molinos de martillos con criba de 1mm, se obtiene un rendimiento promedio de harina de 96,6%. El tamaño de los agujeros del tamiz o criba determina el tamaño de las partículas de harina, en consecuencia el mayor porcentaje de harina original, correspondió a tamaños de partícula de >500, 500 y 355 μm .
2. Se presenta una diferencia significativa en cuanto al contenido de proteína y almidón de las distintas fracciones granulométricas. El mayor porcentaje de almidón corresponde a tamaños de partícula inferiores (250 μm , 212 μm , 180 μm y 150 μm). También se observa un mayor contenido de proteína en las primeras fracciones (500 y 355 μm), y en la última fracción de 150 μm .
3. La fracción de 355 μm presentó una granulometría similar a la sémola de trigo, y buen contenido de proteína, por lo cual se recomienda incluirla en un producto tipo pasta alimenticia a un nivel del 10%, ya que este nivel presentó el menor porcentaje de sólidos solubles.
4. La fracción granulométrica de harina de sorgo incluida en la pasta alimenticia, permitió una menor pérdida de sólidos solubles, en comparación con los tamaños de partícula utilizados por otros autores.

6. RECOMENDACIONES

- 1.** Se recomienda evaluar otros parámetros químicos como contenido de cenizas y fibra dietaria, con el fin de conocer mejor la distribución de los componentes anatómicos del grano en las diferentes fracciones granulométricas.
- 2.** Para conocer mejor las características funcionales del producto, se recomienda evaluar otros parámetros como poder de hinchamiento y tiempo mínimo de cocción.

BIBLIOGRAFIA

1. AFHSE, (2007). Los Harineros Analizan el Desarrollo de los Biocarburantes y el Precio Alcista de los Granos. Puede consultarse en la siguiente página web:
www.biodieselspain.com
2. A.O.A.C, (1998). Official Methods of Analysis 16th edition. Vol II . Washington: Association of official analytical chemist
3. Bolade, M; Adeyemi, I; Ogunsua, A, (2009). Influence of particle size fractions on the physicochemical properties of maize flour and textural characteristics of maize-based nonfermented food gel. *International Journal of Food Science and Technology*, 44,(2009,) 646–655
4. Bruneel, C; Pareyt, B; Brijs, K; Delcour, J, (2009). The Impact of the Protein Network on the Pasting and Cooking Properties of Dry Pasta Products. *Food Chemistry*, 120(2010), 371-378.
5. Burkard, C. Semillas de sorgo híbridos, graníferos Forza y Colosal, forrajero HF-895, (Ficha comercial).
6. CENTA, INTSORMIL, Y MAG, (2007). Guía Técnica del Sorgo II (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Puede consultarse en la siguiente página web:
www.centa.gob.sv/Documentacion.aspx?c=44
7. CIAT, (2008). Respuesta del CIAT a la Situación Alimentaria Mundial. Puede consultarse en la siguiente página web:
http://www.ciat.cgiar.org/training/pdf/2008_06_18_G_Hawtin_esp.pdf
8. CIAT, (1990). Sorgo para suelos Ácidos. Colombia. p 37

9. Codex Alimentarium (1991). Norma del Codex para la Sémola y la Harina de Trigo duro Codex Stan 178-1991. Puede consultarse en la siguiente página Web: **www.codexalimentarius.net/download/standards/60/CXS_178s.pdf**
10. Dendy, D y Dobraszczyk, B, (2001). Cereales y Productos Derivados. Química y Tecnología. España: Acribia S,A. p 17, 312-316,326,423,426
11. FAO, (2009). Conseguir la Seguridad Alimentaria en Época de Crisis. Puede consultarse en la siguiente página web : http://www.fao.org/fileadmin/templates/getinvolved/pdf/WFD_2009_leaflet-es_web_01.pdf
12. FAO, (1995). El Sorgo y el Mijo en la Nutrición Humana. Puede consultarse en la siguiente página web: **www.fao.org/docrep/t0818s/t0818s00.HTM**
13. FENALCE, (2009). Sorgo. Puede consultarse en la siguiente página web: **www.fenalce.org/pagina.php?p_a=47**
14. Fennema, O, (2000). Química de los Alimentos. 2ed. España: Acribia S,A. p 46
15. Goñi, I; García, A; Calixto, F, (1997). A Starch Content Hydrolysis Procedure To Estimate Glycemic Index. *Nutrition Research*, 17(2), 427-437
16. Granito, M; Torres, A; Guerra, M, (2003). Desarrollo y Evaluación de Una Pasta A Base de Trigo, Maíz, Yuca, Frijol. *Interciencia*, 28(7), 372-378
17. Hosoney, R, (1991). Principios de Ciencia y Tecnología de Cereales. España: Acribia S,A. p 21, 25, 148, 269-271
18. ICRISAT y FAO, (1997). La Economía del Sorgo y el Mijo en el Mundo. Hechos, Tendencias y Perspectivas
19. Kill, R y Turnbull, K, (2004). Tecnología de la Elaboración de Pasta y Sémola. España: Acribia S, A. p 1,60-61,93,103,167,169,208
20. Meyhuay, m. Capítulo XI Quinua: Operaciones postcosecha. Puede consultarse en la siguiente página web: **www.fao.org/inpho/content/compand/text/ch11-04.htm**

21. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural e IICA (2006). Agroindustria y Competitividad. Estructura y Dinámica en Colombia 1992-1995. p 407,420
22. Petitot, M; Boyer, L; Minier, C; Micard, V, (2010). Fortification of Pasta with split pea and Faba Bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43(2), 634-641
23. Rooney, L,(1973). Industrial Uses of Cereals. ed.Am. ., St. Paul. Assoc. Cereal Chem.p316-342.
24. SDR, SAGARPA y Gobierno de Chiapas, (2005). Sorgo. Puede consultarse en la siguiente página web: **www.agrochiapas.gob.mx/tmp/SP/archivos/SP-Sorgo.pdf**
25. Sepúlveda, M, (2006). Efecto de la Inclusión de Harina de Yuca (Manihot esculenta Grantz) en la Elaboración de Pasta Alimenticia. Tesis. Programa Interfacultades. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá
26. Toht, A; et al (2005). Effects of Particle Size on the Quality of Winter Wheat Flour, With a Special Focus on Macro- and Microelement Concentration. *Soil Science and Plant Analysis*, 37(2006), 2659-2672
27. Torres, A; Rodriguez, M; Guerra, M; Granito, M, (2009). Factibilidad Tecnológica de Incorporar Germen Desengrasado de Maíz en la Elaboración de Pasta Corta. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 22(1), 25-31
28. USDA, (2007). USDA Pronostica Altos Precios Agrarios Durante los Próximos 10 años. Puede consultarse en la siguiente página web: **www.biodieselspain.com**

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo, para el contenido de almidón.

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C1	6	359.65	59.9416667	48.9795367
C2	6	363.57	60.595	17.92563
C3	6	314.57	52.4283333	15.9448167
T1	3	159.3	53.1	11.3841
T2	3	154.29	51.43	24.5721
T3	3	181.72	60.5733333	12.2841333
T4	3	177.97	59.3233333	49.6814333
T5	3	182.57	60.8566667	18.5669333
T6	3	181.94	60.6466667	79.2086333

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	247.142933	2	123.571467	8.56637656	0.00680034	4.10282102
Columnas	269.998183	5	53.9996367	3.7434307	0.03598256	3.32583453
Error	144.251733	10	14.4251733			
Total	661.39285	17				

Anexo 2. Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo, para el contenido de proteína.

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C1	6	0.5036	0.08393333	0.00016732
C2	6	0.5412	0.0902	0.00016559
C3	6	0.5239	0.08731667	0.00017091
T1	3	0.3367	0.11223333	1.1223E-05
T2	3	0.265	0.08833333	2.5823E-05
T3	3	0.241	0.08033333	5.5033E-06
T4	3	0.2367	0.0789	0.00002379
T5	3	0.2364	0.0788	0.00001531
T6	3	0.2529	0.0843	0.00000252

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	0.00011806	2	5.9032E-05	11.7413645	0.00237627	4.10282102
Columnas	0.00246885	5	0.00049377	98.2103693	3.6222E-08	3.32583453
Error	5.0277E-05	10	5.0277E-06			
Total	0.00263719	17				

Anexo 3. Método de comparaciones múltiples de diferencia mínima significativa (DMS).
Promedios contenido de Almidón

Con $\alpha = 0,05$, GLE= 10, se tiene $t = 2,228$

$$DMS = t(\alpha, GLE) \sqrt{\frac{2 CME}{r}}$$

CME= Cuadrado medio del error

r= Número de repeticiones

$$DMS = 2,228 \sqrt{\frac{2.14,4251733}{3}}$$

DMS= 6,90923679

Existe diferencia significativa cuando:

$$| \text{Promed } Y_i - Y_j | > DMS$$

		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Tratamientos	Prom almid	53.1	51.43	60.5733333	59.3233333	60.8566667	60.6466667
T1	53.1	0	1,67	7,4733333	6,2233333	7,7566667	7,5466667
T2	51.43	1,67	0	9,1433333	7,8933333	9,4266667	9,2166667
T3	60.5733333	7,4733333	9,1433333	0	1,25	0,2833334	0,0733334
T4	59.3233333	6,2233333	7,8933333	1,25	0	1,5333334	1,3233334
T5	60.8566667	7,7566667	9,4266667	0,2833334	1,5333334	0	0,21
T6	60.6466667	7,5466667	9,2166667	0,0733334	1,3233334	0,21	0



= Diferencia significativa entre promedios.

Anexo 4. Método de comparaciones múltiples de diferencia mínima significativa (DMS).
Promedio contenido de proteína

Con $\alpha = 0,05$, GLE= 10, se tiene $t = 2,228$

$$DMS = t(\alpha, GLE) \sqrt{\frac{2 CME}{r}}$$

$$DMS = 2,228 \sqrt{\frac{2.0,0000050277}{3}}$$

$$DMS = 0,004079004$$

		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Tratamientos	Prom prote	0.11223333	0.08833333	0.08033333	0.0789	0.0788	0.0843
T1	0.11223333	0	0.0239	0.0319	0.03333333	0.03343333	0.02793333
T2	0.08833333	0.0239	0	0.008	0.00943333	0.00953333	0.00403333
T3	0.08033333	0.0319	0.008	0	0.00143333	0.00153333	0.00396667
T4	0.0789	0.03333333	0.00943333	0.00143333	0	0.0001	0.0054
T5	0.0788	0.03343333	0.00953333	0.00153333	0.0001	0	0.0055
T6	0.0843	0.02793333	0.00403333	0.00396667	0.0054	0.0055	0

 = Diferencia significativa entre promedios.

Anexo 5. Análisis de varianza de un factor, para el porcentaje de sólidos solubles.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	0.00761502	0.00253834	2.301E-08
Columna 2	3	0.00989234	0.00329745	7.0852E-08
Columna 3	3	0.0104575	0.00348583	7.364E-08
Columna 4	3	0.0076509	0.0025503	6.9082E-08

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2.2073E-06	3	7.3577E-07	12.4399062	0.00221408	4.066180557
Dentro de los grupos	4.73166E-07	8	5.9146E-08			
Total	2.68047E-06	11				

Anexo 6. Análisis de varianza de un factor, para porcentaje de índice de absorción de agua.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	7.7043	2.5681	0.00912973
Columna 2	3	7.79171	2.59723667	0.03547744
Columna 3	3	8.3281	2.77603333	0.00158265
Columna 4	3	8.2618	2.75393333	0.00074064

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.10172231	3	0.03390744	2.89001471	0.10225794	4.06618056
Dentro de los grupos	0.09386094	8	0.01173262			
Total	0.19558325	11				

Anexo 7. Método de comparaciones múltiples de diferencia mínima significativa (DMS).
Promedios Sólidos solubles

Con un nivel de confianza del 95%.

Contraste	Diferencia
10% - 15%	-0,0759107
10% - 20%	-0,0947493
10% - Control	-0,001196
15% - 20%	-0,0188387
15% - Control	0,0747147
20% - Control	0,0935533



= Diferencia significativa entre promedios.