

**EFFECTO DE LA TERMOSONICACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES
TERMICAS Y LA DIGESTIBILIDAD DE LAS HARINA DE ARROZ (*Paddy*) Y
HARINA DE TRIGO. (*Triticum durum*)**



NIDIA YAZMIN LUNA GRANADOS

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
VICERRECTORA DE INVESTIGACIONES
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
PAMPLONA
2015**

**EFFECTO DE LA TERMOSONICACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES
TERMICAS Y LA DIGESTIBILIDAD DE LAS HARINA DE ARROZ (*Paddy*) Y
HARINA DE TRIGO. (*Triticum durum*)**

NIDIA YAZMIN LUNA GRANADOS

DIRECTOR

PhD. VÍCTOR MANUEL GÉLVEZ O.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
PAMPLONA**

2015

Dedicatoria

A Dios, por darme las herramientas necesarias para alcanzar esta meta.

A toda mi familia, por su apoyo y amor incondicional.

A mi esposo Pedro Javier Mendoza Arias, por su cariño y comprensión permanente.

A mi Tatan por ser mi fuente de, inspiración de este estudio.

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que me apoyaron para la realización de este trabajo.

A la **Universidad de Pamplona** por las enseñanzas impartidas a lo largo de mi carrera, por mi formación profesional y por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios de Maestría.

A los **Docentes** de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Pamplona quienes con sus conocimientos y orientaciones aportaron para el logro de la meta deseada.

A **VÍCTOR MANUEL GÉLVEZ ORDOÑEZ**. PhD. Director de este trabajo, por su invaluable colaboración en el desarrollo de la investigación.

A **mi compañera y amiga YESENIA VERA**, por sus consejos y experiencias, que ayudaron a darle un mejor enfoque a este trabajo.

A mis **Compañeros** de maestría, por su ánimo y apoyo desinteresado.

Y por último, presento mis más sinceros agradecimientos, a mi **familia** y en especial a mi esposo Pedro Javier Mendoza Arias, por su respaldo durante todo el tiempo en que realicé este estudio.

A todos, eterna gratitud.

Contenido

	Págs.
Resumen	11
Abstract	13
CAPÍTULO I	15
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 LAS PROTEÍNAS	15
1.1.1 Clasificación de las proteínas. Las proteínas se clasifican en dos clases principales atendiendo a su composición.	15
1.1.1.1 Las proteínas simples u holoproteína:	15
1.1.2 Calidad Proteica	18
1.1.2.1 Disponibilidad de los aminoácidos	19
1.1.3 Propiedades de las Proteínas	19
1.1.3.1 Proteínas de hidratación	20
1.1.3.2 Propiedades de superficie	21
1.1.3.3 Otras propiedades	22
1.1.4 Efectos del procesamiento sobre las propiedades de las proteínas	22
1.1.4.1 Tratamiento Térmicos: se pueden subdividirse en moderados y severos	23
1.1.4.2 Tratamientos con ácidos	24
1.1.4.3 Tratamientos Alcalinos	24
1.1.4.4 Tratamientos de Oxidación	24
1.1.5 Factores que intervienen sobre las propiedades	25
1.1.6 Digestibilidad de proteínas	26
1.2 CEREALES	27
1.2.1 Introducción a los cereales	27
1.2.2 Usos generales de los cereales	27
1.2.3 Valor nutricional de los cereales	28
1.2.4 Proteínas de los cereales.	28
1.2.5 Las proteínas y los aminoácidos en el organismo.	30

1.2.6 Clases de cereales	30
1.2.6.1 El arroz.	30
1.2.6.2 El trigo.	32
1.2.6.3 Clases de harinas	33
1.2.7 Análisis para determinar la estabilidad térmica de las proteínas de arroz y trigo	53
1.2.7.1 Calorimetría de barrido diferencial (DSC)	53
1.2.7.2 Estabilidad térmica en harina de arroz	55
1.2.7.3 Estabilidad térmica en harina de trigo	56
1.2.8 Métodos para mejorar las propiedades en los alimentos.	58
1.2.8.1 Ultrasonido.....	58
CAPITULO II	67
2. OBJETIVOS	67
2.1 OBJETIVO GENERAL	67
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	67
2.3 PLAN DE TRABAJO	67
2.3.1 Establecer el contenido de proteína de las muestras de harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación.	68
2.3.2 Determinar la digestibilidad <i>in vitro</i> de las muestras de harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación.	68
2.3.3 Evaluar la estabilidad térmica de las proteínas de la harina de arroz y harina de trigo.	68
2.3.4 Comparación de los porcentajes de digestibilidad <i>in vitro</i> y digestibilidad ponderada en harinas de arroz y harina de trigo tratadas con Ultrasonido.	69
CAPITULO III	70
3. MATERIALES Y MÉTODOS	70
3.1 MATERIALES	70
3.1.1 Materia prima.	70
3.2 MÉTODOS	70

3.2.1 Preparación de las muestras	70
3.2.2 Tratamiento con ultrasonido.	71
3.2.2.1 Tratamiento con ultrasonido	71
3.2.3 Aplicación de análisis de proteínas.	71
3.2.3.1 Contenido de proteína Kjeldahl.	71
3.2.4 Digestibilidad proteica de harina de trigo y harina de arroz.....	72
3.2.4.1 Preparación de las muestras para digestibilidad in vitro	72
3.2.4.2 Preparación de soluciones enzimáticas para digestibilidad in vitro.	72
3.2.5 Digestibilidad de los test de proteína.	73
3.2.5.1 Determinación de las propiedades térmicas de proteína en muestras de harina de trigo y harina de arroz.	74
3.2.5.2 Determinación de las propiedades térmicas en almidón para muestras de harina de trigo y harina de arroz.	76
3.2.6 Análisis estadístico.	78
CAPITULO IV	79
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
4.1 CONTENIDO DE PROTEÍNA DE LAS MUESTRAS DE HARINA DE ARROZ Y TRIGO	79
4.1.1 Digestibilidad in vitro de las muestras de harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación.	82
4.1.2 Estabilidad térmica de las proteínas de la harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación.	86
4.1.3 Comparación de los porcentajes de digestibilidad in vitro y digestibilidad ponderada en harinas de arroz y harina de trigo tratadas con ultrasonido	96
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS	123

Listado de Tablas

Págs.

Tabla 1. Fracciones de proteínas en cereales de arroz y trigo expresados como porcentaje de proteína total.	29
Tabla 2. Digestibilidad de las proteínas en varios alimentos	51
Tabla 3. Calidad de las proteínas del arroz, trigo y otros cereales.	52
Tabla 4. Tratamientos con US a diferentes tiempos y temperaturas	71
Tabla 5. Entalpía de gelatinización (ΔH_p) para harinas de arroz y trigo sometidas a termosonicación.	88
Tabla 6. Resultados de la comparación de la digestibilidad in vitro y digestibilidad ponderada.	96

Listado de figuras

Págs.

Figura 1. Estructura del grano de arroz	31
Figura 2. Estructura de una semilla de trigo (corte longitudinal).	33
Figura 3. Los rangos de frecuencia del ultrasonido.	58
Figura 4. Mecanismo y acción de la cavitación.....	59
Figura 5. Porcentaje de digestibilidad <i>in vitro</i> en las muestra de harina de arroz sometidas a termosonicación	82
Figura 6. Porcentaje de digestibilidad en las muestra de harina de trigo sometidas a termosonicación.	85
Figura 7. Termogramas DSC de harina de arroz sometidas a US durante 30 min	86
Fuente: Autora del proyecto	86
Figura 8. Termogramas DSC de harina de arroz sometido a US durante 15 min.	87
Figura 9. Termogramas DSC de harina de trigo sometidas a US durante 30 min.	93
Figura 10. Termogramas DSC de harina de trigo sometidas a US durante 15 min.	94

Listado de Anexos

Págs.

Anexo A - Análisis de digestibilidad de proteína	124
Anexo B- Análisis de Calorimetría	126
Anexo C- Análisis Estadístico (Anova – Spss Versión 19)	127
Anexo D- Análisis fisicoquímicos de proteína en harina de trigo y harina de arroz.	131

Resumen

Las tecnologías emergentes como el ultrasonido (US) en la industria alimentaria desarrollan procesos más seguros, eficientes, económicos e impactan positivamente las propiedades de los alimentos, comparadas con los métodos tradicionales.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del US sobre las propiedades térmicas, digestibilidad *in vitro* de las proteínas y su comparación con los patrones de digestibilidad ponderada establecidos por la FAO 1991, para población adulta urbana y rural. Dichos análisis se aplicaron a muestras de las harinas de trigo y arroz, para lo cual se suspendieron las harinas en agua y se sometieron a termosonicación (40 KHz) a temperaturas de 40, 50 y 60°C durante 15 y 30 minutos. Los resultados obtenidos para el análisis de proteína de las muestras de harina de trigo fue de $4.90 \pm 1,23\%$ y para harina de arroz fue de $8,83 \pm 1,67\%$, lo que muestra que la cantidad y composición de la proteína es responsables del potencial de comercialización de una harina para diferentes procesamiento en la industria alimentaria (panificación, papillas, coladas, galletería, cremas instantáneas, sopas); la calidad proteica depende de varios factores como su variedad, las diferencias en la estructura de las proteínas, al tipo de grano, a la tecnología de procesamiento.

La digestibilidad *in vitro* de las proteínas se determinó utilizando un sistema trienzimático (tripsina, quimotripsina y peptidasa). Se encontró un incremento significativo ($p < 0,05$) en la digestibilidad de las muestras tratadas a 40 KHz /50°C/15 min alcanzando un valor de $85,92 \pm 0,11\%$ con respecto a los demás muestras. No se observó ninguna variación en los demás tratamientos con respecto a la muestra control. Se registró un promedio del valor de la digestibilidad, en las muestras tratadas y las muestras de control, que oscila entre 84,50 a 86,00%. Los resultados obtenidos podrían deberse a la constitución básica de la harina de trigo; ya que la molienda de los granos aumenta la superficie para el ataque enzimático y el fenómeno de cavitación causado por el US que aumenta la temperatura de las proteínas desnaturalizándolas y mejorando la digestibilidad. Se puede concluir que el efecto del US

mejora la digestibilidad proteica de la harina lo que permiten aumentar su valor nutricional y su calidad de los alimentos.

Las propiedades térmicas de las harinas de trigo y arroz se determinaron mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC). Los termogramas de los almidones mostraron un pico endotérmico inicial (T_o) de 62 a 70°C y un segundo pico (T_p) entre 68,19-74,79°C; al finalizar el proceso el sistema llegó a la línea base alcanzando una temperatura final (T_e) de 75,94–84,81°C registrando los valores más altos de absorción de calor. Así mismo, se encontró que las muestras tratadas con US a 40KHz/50°C/30 min alcanzaron un valor de 8,47 Jul/g en la entalpía de gelatinización (ΔH_p) que resultó ser mayor frente a las determinaciones de todas las muestras. Por su parte, las muestras tratadas a 60°C/15 y 60°C /30 min presentaron los menores valores (3,91 y 3,15 Jul/g respectivamente) en la entalpía de gelatinización frente a todos los tratamientos ($p < 0.05$). La transición térmica de las muestras de harina de arroz tratadas con US presentaron una T_o en un rango de 66 a 71°C, el valor de la T_p estuvo entre 70,73-75,07°C y a medida que el proceso finaliza la T_e en un rango de 77,52–86,66°C. La mayor ΔH_p fue de 9,89 Jul/g del tratamiento 40KHz/40°C/15 min, mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los tratamientos.

Lo anterior debido probablemente al efecto de cavitación causado por el US, que dispersa los aglomerados de gránulo de almidón y aumenta la transferencia de masa en la capa límite entre los gránulos y la fase acuosa; ya que se presentan fisuras y depresiones. Demostrando que el efecto del US mejoran la estabilidad térmica de la harina, características que permiten reducir los costos energéticos en diferentes procesos agroindustriales, ya que se alcanza rápidamente la gelatinización a una temperatura más baja, por tanto son de fácil cocción y requieren menos energía que otros tipos de almidón.

Palabras claves: Calorimetría, digestibilidad, gelatinización, harina, ultrasonido.

Abstract

Emerging technologies such as ultrasound (US) in the food industry develop safer, more efficient, economic processes and positively impact the properties of food, compared with traditional methods.

The aim of this study was to evaluate the effect of the US on the thermal properties, in vitro protein digestibility and comparison with weighted patterns established by the FAO digestibility 1991, for urban and rural adult population. These analyzes were applied to samples of wheat flour and rice flour to which were suspended in water and subjected to thermosonication (40 KHz) at temperatures of 40, 50 or 60 ° C for 15 to 30 minutes. The results obtained for the analysis of protein samples of wheat flour was of $4.90 \pm 1.23\%$ and rice flour was $8.83 \pm 1.67\%$, which shows that the amount and composition of protein It is responsible for the marketing potential of a flour to different processing in the food industry (bread, porridge, washes, biscuits, instant puddings, soups); protein quality depends on several factors such as variety, differences in the structure of proteins, the type of grain processing technology.

The in vitro protein digestibility was determined using a system trienzimático (trypsin, chymotrypsin and peptidase). A significant increase ($p < 0.05$) treatment in which US was used at 40 KHz to 50 ° C for 15 minutes reaching a value of $85.92 \pm 0.11\%$ with respect to the other samples were found . No variation was observed in the other treatments compared to the control sample, averaging ranging from 84.50 to 86.00% of the value of the in vitro digestibility of the treated samples and not with US. The results could be due to the basic constitution of wheat flour; as grinding grains increases the surface for enzymatic attack and the cavitation phenomenon caused by the US increases the temperature of the denaturing proteins and improving the digestibility.

The thermal properties of wheat flour and rice were determined by differential scanning calorimetry (DSC). Starches thermograms showed an initial endothermic peak (T_0) from 62

to 70 ° C and a second peak (Tp) between 68.19 to 74.79 ° C; at the end of the process the system reached the baseline reaching a final temperature (Te) of 75.94 to 84.81 ° C recorded the highest heat absorption values. Also, it was found that the samples treated with US 40KHz / 50 ° C / 30 min were valued at 8.47 Jul / g in the enthalpy of gelatinization (ΔH_p) turned out to be higher against the determinations of all samples . For its part, the samples treated at 60 ° C / 15 to 60 ° C / 30 min showed the lowest values (3.91 and 3.15 Jul / g respectively) in the enthalpy of gelatinization against all treatments ($p < 0.05$). The thermal transition samples treated rice flour To in US presented a range of 66 to 71 ° C, the value was between 70,73-75,07°C Tp and as the process ends in a range of Te 77.52 to 86.66 ° C. Most ΔH_p was 9.89 Jul / g treatment 40KHz / 40 ° C / 15 min, showing significant differences ($p < 0.05$) in all treatments.

This probably due to cavitation caused by the US, which disperses the starch granule agglomerates and increases the mass transfer in the boundary layer between the pellets and the aqueous phase; as depressions and cracks occur. Showing that the effect of improving the thermal stability US flour, features to reduce energy costs in different agroindustrial processes because gelatinization is quickly reached to a lower temperature, so they are easy to cook and require less power than other types of starch.

Key words: Calorimetry, digestibility, gelatinization, flour, ultrasound.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 LAS PROTEÍNAS

Son macromoléculas formadas por aminoácidos, que desempeñan un gran número de funciones en las células vivas y forman la estructura básica de los tejidos. Cortázar (2011) además constituyen el principal nutriente para la formación de los músculos del cuerpo. Las proteínas desempeñan un papel fundamental para la vida y son las biomoléculas más versátiles y diversas y están formadas por aminoácidos. Las proteínas de todos los seres vivos están determinadas mayoritariamente por su genética (con excepción de algunos péptidos antimicrobianos de síntesis no ribosoma), es decir, la información genética determina en gran medida qué proteínas tiene una célula, un tejido y un organismo. Las proteínas se sintetizan dependiendo de cómo se encuentren regulados los genes que las codifican. Por lo tanto, son susceptibles a señales o factores externos. Mataix (2009).

1.1.1 Clasificación de las proteínas. Las proteínas se clasifican en dos clases principales atendiendo a su composición.

1.1.1.1 Las proteínas simples u holoproteína: son las que están compuestas exclusivamente por aminoácidos entre estas encontramos:

- **Globulares.** Las proteínas globulares se caracterizan por doblar sus cadenas en una forma esférica apretada o compacta dejando grupos hidrófobos hacia adentro de la proteína y grupos hidrófilos hacia afuera, lo que hace que sean solubles en disolventes polares como el agua. La mayoría de las enzimas, anticuerpos, algunas hormonas y proteínas de transporte, son ejemplos de proteínas globulares. Luque (2013) Algunos tipos son:

- ✓ **Prolaminas:** solubles en alcohol característicos de los productos vegetales zeína (maíz), gliadina (trigo), hordeína (cebada). Vargas (1991).
- ✓ **Glutelinas:** solubles en ácidos y álcalis pero insolubles en agua y soluciones salinas diluidas componentes de tejidos y productos vegetales como glutenina (trigo), orizanina (arroz). Vargas (1991).
- ✓ **Albúminas:** solubles en agua y soluciones salinas diluidas constituyente distintivo de tejidos y productos animales según. Vargas (1991) precipitable con soluciones saturadas o casi saturadas ejemplos seroalbúmina (sangre), ovoalbúmina (huevo), lacto albúmina (leche).
- ✓ **Hormonas:** Vargas (1991) Las proteínas son hormonas o receptoras de hormonas con función ordenadora y moderadora de la acción de los ácidos nucleicos de la actuación de otras proteínas y otras complejas reacciones metabólicas para asegurar la actividad biológica como son la insulina, hormona del crecimiento, prolactina, tirotropina.
- ✓ **Enzimas:** hidrolasas, oxidasas, ligasas, liasas, transferasas. son proteínas responsables de acelerar y regular las complejas reacciones metabólicas para ser compatibles con los procesos bioquímicos esenciales para el mantenimiento de las células. Vargas (1991).

- **Fibrosas.** Las proteínas fibrosas presentan cadenas polipeptídicas largas y una estructura secundaria atípica. Son insolubles en agua y en disoluciones acuosas. Algunas proteínas fibrosas son:
 - ✓ **Colágenos:** en tejidos conjuntivos, cartilagosos.
 - ✓ **Queratinas:** Proteínas encargadas de la protección externa del organismo, mediante la epidermis como pelos, uñas, plumas, cuernos.
 - ✓ **Elastinas:** Proteínas conectivas constituyentes de la red de tejidos conjuntivos encargados de unir huesos y elementos del organismo mantenerlos en sus debidos sitios como tendones y vasos sanguíneos. Vargas (1991).
 - ✓ **Fibroínas:** en hilos de seda, (arañas, insectos)

- **Las proteínas conjugadas o heteroproteínas:** son las que están compuestas por aminoácidos y otra sustancia de naturaleza no proteica que recibe el nombre de **grupo prostético**. Luque (2013) dependiendo el grupo proteico existen varios tipos:
 - ✓ **Glicoproteínas.** Son moléculas formadas por una fracción glucídica (del 5 al 40%) según. Vargas (1991) con oligosacáridos cuyas cadenas de carbohidratos pueden contener residuos glicosil y una fracción proteica unidas por enlaces covalentes. Las principales son las mucinas de secreción como las salivales, Glucoproteínas de la sangre, y Glucoproteínas de las membranas celulares. Algunas de ellas son:
 - ❖ Ribonucleasa
 - ❖ Mucoproteínas
 - ❖ Anticuerpos
 - ❖ Hormona luteinizante
 - ✓ **Lipoproteínas.** Vargas (1991) explica como las lipoproteínas están formadas por la conjugación entre fracción proteica y lípido y son complejos macromoleculares esféricos formados por un núcleo que contiene lípidos apolares (colesterol esterificado y triglicéridos) y una capa externa polar formada por fosfolípidos, colesterol libre y proteínas (apolipoproteínas). Su función principal es el transporte de triglicéridos, colesterol y otros lípidos entre los tejidos a través de la sangre. Las lipoproteínas se clasifican según su densidad. Luque (2013).
 - ❖ Lipoproteínas de alta densidad.
 - ❖ Lipoproteínas de baja densidad.
 - ❖ Lipoproteínas de muy baja densidad.
 - ✓ **Nucleoproteínas.** Son proteínas estructuralmente asociadas con un ácido nucleico (que puede ser ARN o ADN). El ejemplo prototípico sería cualquiera de las histonas, que son identificables en las hebras de cromatina. Otros ejemplos serían la Telomerasa, una ribonucleoproteína (complejo de ARN/proteína) y la Protamina. Su característica fundamental es que forman complejos estables con los ácidos

nucleicos, a diferencia de otras proteínas que sólo se unen a éstos de manera transitoria, como las que intervienen en la regulación, síntesis y degradación del ADN. Luque (2013).

- ✓ **Cromoproteínas.** Las cromoproteínas poseen como grupo prostético una sustancia coloreada, por lo que reciben también el nombre de pigmentos. Según la naturaleza del grupo prostético, pueden ser pigmentos porfirínicos como la hemoglobina encargada de transportar el oxígeno en la sangre o no porfirínicos como la hemocianina, un pigmento respiratorio que contiene cobre y aparece en crustáceos y moluscos por ejemplo. También los citocromos, que transportan electrones. Luque (2013)

1.1.2 Calidad Proteica. La calidad proteica depende de la naturaleza y cantidad de aminoácidos que constituyen y representa la eficacia con que un organismo pueda utilizarla, además la calidad proteica variará con el organismo ya que el organismo necesita, en un momento determinado una cantidad de aminoácidos y en una determinada proporción para atender la síntesis de proteínas específicas del cuerpo humano. Mataix (2009).

Bermúdez *et al.* , (1995) describe que las proteínas de los alimentos de origen animal en general presentan en su composición un contenido de aminoácidos similar o superior al del patrón provisional de la FAO-OMS. Por el contrario las proteínas de los alimentos vegetales son deficientes en diferentes aminoácidos, así tenemos que los cereales son deficientes en lisina y el maíz en triptófano; las leguminosas son deficientes en metionina y las semillas de oleaginosas son deficientes tanto en metionina como en lisina. Esto quiere decir que las proteínas de origen vegetal son de una calidad inferior o sea que el organismo las utiliza menos eficientemente que las de origen animal.

La calidad de las proteínas vegetales se puede incrementar mediante suplementación o complementación, la suplementación se adiciona al alimento el aminoácido o aminoácidos,

que se encuentran por debajo de los requerimientos establecidos mediante el patrón de aminoácidos, la suplementación no se debe hacer si no se conoce el contenido de aminoácidos de la proteína, la complementación hace referencia al uso de proteínas con diferentes deficiencias, por ejemplo el consumo de leguminosas y cereales simultáneamente. La complementación óptima no significa que debe consumir en cantidades iguales los dos alimentos, así se ha podido observar que las proteínas del arroz se complementan adecuadamente adicionando una pequeña cantidad de frijol rojo, mientras que lo contrario o sea frijoles con una pequeña cantidad de arroz, la complementación es deficiente. Bermúdez *et al.*, (1995).

1.1.2.1 Disponibilidad de los aminoácidos. Las proteínas ingeridas requiere de un proceso de digestión enzimático que rompa los enlaces peptídicos y libere los aminoácidos para, en esta forma ser absorbidos.

De los aminoácidos presentes en la proteína animal usualmente se absorben alrededor del 90% mientras que los de la proteína vegetal se absorben entre el 60y 70%. Bermúdez *et al.*, (1995).Estas diferencias en la digestibilidad de las proteínas y por ende en la disponibilidad son causadas por diferentes factores entre los cuales tenemos:

- Presencia de factores antinutricionales que pueden ser de origen proteico, como los inhibidores de tripsina y las lectinas o hemaglutininas.
- Conformación de las proteínas; las proteínas insolubles y las de baja solubilidad son atacadas más lentamente por las proteasas que las proteínas solubles.

Los procesos a los que se someten los alimentos pueden inducir la formación de complejos entre las proteínas y otros ingredientes para formar complejos que son difíciles de digerir. Bermúdez *et al.*, (1995).

1.1.3 Propiedades de las Proteínas. Las propiedades funcionales de las proteínas pueden ser clasificadas en tres tipos de grupos según el tipo de interacción que predomine:

1.1.3.1 Proteínas de hidratación

- ✓ **Solubilidad.** Son solubles en agua e insolubles en solventes orgánicos. García (2010), la solubilidad de una proteína representa la capacidad que posee para formar soluciones coloidales, esta generalmente disminuye con los tratamientos térmicos, pero la mayoría de las veces se requiere someter las proteínas a calentamientos por otras razones como son la destrucción de factores antinutricionales podemos decir que una proteína que es muy poco soluble o que es insoluble, no se puede adicionar a bebidas o a alimentos que para su consumo se deban dispersar. Bermúdez *et al.*, (1995).
- **Hidratación.** Encontramos diversas propiedades de hidratación como:
 - ✓ **Rehidratabilidad:** Evalúa el porcentaje de agua que bajo condiciones determinadas el material está en capacidad de reabsorber.
 - ✓ **Capacidad de hinchamiento.** Indica la capacidad de un material seco de aumentar su volumen cuando se pone en contacto con el agua. Bermúdez *et al.*, (1995).
En el caso de la proteína es la medida del grado de hinchamiento que sufre la proteína frente a un exceso de agua a temperatura de 20 ° C.
 - ✓ **Capacidad de retención de agua:** Expresa la cantidad de agua que un sistema es capaz de retener en relación con a fuerza de gravedad, o de fuerzas mecánicas de compresión o de la fuerza centrífuga. Cantidad de agua retenida por 100 gr de proteína.
 - ✓ **Absorción de humedad.** Indica la cantidad de agua absorbida por la muestra a una determinada humedad relativa o a una actividad acuosa dada, lo cual sirve para evaluar la higroscopicidad de una proteína. Bermúdez *et al.*, (1995).
- **Gelificación.** Se desarrolla en dos fases, la primera durante el calentamiento, la proteína se desnaturaliza lo cual implica que pierde parte de su estructura secundaria

y terciaria. En la segunda, durante el enfriamiento las proteínas se asocian gradualmente para formar la red tridimensional que retiene agua y otros constituyentes del alimento como lípidos, carbohidratos.

1.1.3.2 Propiedades de superficie

- **Propiedades espumantes:** Las espumas alimentarias son dispersiones de burbujas de gas en una fase líquida o semiótica que contiene un agente tensoactivo. La capacidad de las proteínas de formar espumas, está relacionada con la naturaleza anfipática de sus moléculas que le permiten actuar como agentes tensoactivos. La formación de las espumas depende de la solubilidad de las proteínas, cuando es baja, la espuma está relacionada con la naturaleza anfipática de sus moléculas que le permiten actuar como agentes tensoactivos. Bermúdez *et al.*, (1995).

Las propiedades espumantes de una proteína pueden ser evaluadas desde diferentes parámetros, los más importantes son; capacidad espumante, estabilidad de la espuma, densidad de la espuma.

- **Propiedades emulsificantes:** Son dispersiones de dos lípidos no miscibles uno de los cuales se presenta en forma de pequeñas gotitas dispersas en el otro líquido. Las emulsiones se clasifican en dos grandes grupos: las del tipo agua en aceite y las de aceite en agua.

Las propiedades emulsificantes de una proteína se pueden evaluar a través de: la capacidad emulsificante, según Ferreyra (2007) se evaluó la capacidad emulsificante en harina de cacahuates y se encontró que esta propiedad estuvo fuertemente afectada por el pH y la baja solubilidad de algunas proteínas puede disminuir la capacidad de emulsificante, pues estas adoptan una estructura compacta que impide el desdoblamiento y la absorción en la interfase lo que no es deseable en una emulsión o en la estabilidad de la emulsión.

1.1.3.3 Otras propiedades

- **Adsorción de lípidos.** Este tipo de proteínas cuando se emplean en la preparación de alimentos que contiene carne o que sustituyen parcialmente la carne, permiten obtener productos con una textura y sabor más agradable. La cantidad de lípidos adsorbidos de por gramos de proteínas depende de, el tipo de proteína, el tamaño de la partícula proteica, los tratamientos térmicos previos y la densidad del material proteico, a menor densidad mayor absorción. Bermúdez *et al.*, (1995).
- **Fijación y retención de aromas.** Para Bermúdez *et al.*, (1995). los aromas que presentan las proteínas son debidos a diversos componentes aldehídos, cetona, fenoles, alcoholes, etc. Que se unen a la proteína mediante enlaces covalentes electrostáticos o se encuentran absorbidos en la superficie la fijación y retención de aromas en una proteína dependerá de la conformación de la molécula proteica, por lo tanto cualquier factor que la modifique influirá sobre la fijación de los compuestos que imparten el aroma. La propiedad de las proteínas de ligar sabores y aromas lleva a modificar sabor en los alimentos procesados, para que esta funcione como un buen acarreador del sabor debe poderlos retener durante el proceso y liberarlos durante la masticación. Badui (2006). Además se le atribuyen como precursores de sus componentes aromáticos y las sustancias de color que se forman mediante las reacciones térmicas y/o enzimáticas que ocurren durante la obtención, preparación y almacenamiento. Badui (2006); Fennema (2000).

1.1.4 Efectos del procesamiento sobre las propiedades de las proteínas. Las proteínas experimentan modificaciones en su estructura y en sus propiedades tanto nutricionales como funcionales, como resultado de dichos tratamientos. Las modificaciones en algunos casos son beneficiosas y en otras no. Industrialmente se efectúan alteraciones en las propiedades funcionales con el objeto de tener proteínas que puedan ser empleadas en la elaboración de ciertos alimentos o de utilizar fuentes proteicas que comúnmente no se

consumen. Los tratamientos a que usualmente se someten los alimentos protéicos son: Mataix (2009).

1.1.4.1 Tratamiento Térmicos: se pueden subdividirse en moderados y severos

- **Los tratamientos moderados.** Son los que podríamos llamar los métodos usuales de cocción que traen como resultado la desnaturalización de las proteínas. La desnaturalización implica un rompimiento de los puentes de hidrógeno entre los aminoácidos y de los enlaces disulfuro perdiéndose las estructuras secundarias, terciaria y cuaternaria de las proteínas. Bermúdez *et al.*, (1995). Esto facilita su digestión y la inactivación de enzimas como polifenoloxidasas que evita el oscurecimiento no deseable y con métodos como escaldado y la pasteurización se inactiva la lipoxigenasa además las toxinas microbianas es necesario inactivarlas en alimentos de origen vegetal es necesario inactivar inhibidores de tripsina, quimiotripsina y lecitinas. Badui (2006).

El resultado del tratamiento térmico sobre las propiedades de la proteína depende en gran parte de su naturaleza y del medio en que se encuentre. El proceso más común es el tratamiento térmico, donde se propician diferentes reacciones. Una de las transformaciones más significativas es un cambio (positivo o negativo) en el valor de la relación de la eficiencia proteica, comportamiento que se ha comprobado en proteínas y leguminosas, leche, huevo, soya, etc. Badui (1999); Fennema (2000).

- **Los tratamientos térmicos severos.** A temperaturas superiores a 115°C, que es la empleada generalmente para la esterilización de alimentos, produce reacciones que causan la destrucción parcial en algunos aminoácidos debido a la pérdida de los componentes sulfurados, a la desaminación y reacciones de isomerización. Bermúdez *et al.*, (1995).

1.1.4.2 Tratamientos con ácidos: El ácido puede producir la destrucción parcial de algunos aminoácidos, especialmente triptófano, serina, treonina y cisteína. Los tratamientos ácidos también causan la isomerización de algunos aminoácidos que conjuntamente con la destrucción parcial de aminoácidos inducen la disminución de valor nutricional de las proteínas. El pH ácido facilita la ligazón de aniones por las proteínas, lo cual modifica su solubilidad. Badui (1999).

1.1.4.3 Tratamientos Alcalinos: Los tratamientos alcalinos de algunos materiales se emplean para extracción de proteínas como la de las oleaginosas, proteína unicelular, proteínas del pescado, etc.

La hidrolisis alcalina puede dar origen a la liberación de péptidos y aminoácidos, que reaccionan para formar compuestos indeseables y entrecruzamiento en las proteínas. La reacción entre cisteína y la serina da origen a la dehidroalanina. Además de la lisioalanina pueden formar lationina y ornitoalanina cuando la dehidroalanina reacciona con cisteína y ornitina respectivamente. La formación de estos compuestos disminuye el valor nutricional de las proteínas como resultados de la destrucción de aminoácidos y de la disminución en la digestibilidad. Bermúdez *et al.*, (1995).

Los tratamientos alcalinos favorecen la ligazón de cationes por la proteínas, en especial el Ca^{++} lo cual disminuye la solubilidad protéica.

1.1.4.4 Tratamientos de Oxidación: Existen diversos procesos en los cuales la proteínas, con diferentes objetivos entran en con agentes oxidantes como:

- **El peróxido de hidrógeno,** se emplea para la esterilización en frío de la leche destinada a la fabricación de ciertas variedades de queso, para mejorar el color de los concentrados protéicos de pescado y para detoxificar las tortas y harina que contienen aflatoxinas. Badui (1999).

- **El anhídrido sulfuroso**, se usa en los procesos de extracción de proteínas foliares para evitar que los polifenoles presentes en los tejidos formen complejos con las proteínas.
- **El hipoclorito de sodio**. Se utiliza como microbicida. Desde el punto de vista nutricional el efecto de los agentes oxidantes sobre las proteínas es mínimo. Los aminoácidos que se oxidan más fácilmente bajo estas condiciones son la metionina, la cisteína, la cistina y el triptófano y en un menor grado la tirosina y la histidina. Badui (1999).
- **Formación de derivados**. Las proteínas se someten a diversos tratamientos con el objeto de obtener productos con determinadas propiedades funcionales o para eliminar factores antinutricionales. Las reacciones más comunes en estos procesos son:
 - ✓ La acilación con anhídrido acético o anhídrido succínico.
 - ✓ La reacción de plasteína.

Las reacciones con el anhídrido succínico en especial, se emplean para modificar las proteínas de la leche obteniéndose productos con mejores propiedades emulsificantes. Las proteínas de pescado, de soya y del gluten mediante este tratamiento mejoran la capacidad de absorción de agua y la estabilidad al calor, incrementándose también sus propiedades emulsificantes y espumantes. Bermúdez *et al.*, (1995).

El cambio en las propiedades funcionales de las proteínas modificadas depende el porcentaje de grupos aminos modificados.

1.1.5 Factores que intervienen sobre las propiedades. Todas las propiedades funcionales de las proteínas dependen de la concentración de la proteína misma y de los factores del medio en que se encuentran tales como:

- **pH.** Modifica la carga neta de la proteína, debido a que varía la ionización de los grupos, influyendo sobre la posibilidad de formación de puentes de hidrógeno de la proteína con el agua o con otros grupos. En el punto isoeléctrico de la proteína o sea el PH al cual la suma de las cargas positivas y negativas de la proteína es igual a cero, las interacciones proteína -proteína son máximas, produciéndose asociaciones entre las mismas moléculas proteicas, lo cual implica que las interacciones proteína-agua, sean mínimas. Bermúdez *et al.*, (1995).
- **La temperatura.** Sobre las propiedades funcionales dependen de la naturaleza de las proteínas. Generalmente cuando la temperatura se aumenta se disminuye la superficie molecular, lo cual implica que las interacciones entre los grupos polares se incrementen y la posibilidad de formación de puentes de hidrógeno con el agua disminuya, por el contrario calentamiento de moléculas proteicas muy compactas en algunos casos aumenta la fijación de moléculas de agua a través de puentes de hidrógeno, ya que el tratamiento térmico desnaturaliza las proteínas.
- **La fuerza iónica.** Es una medida que involucra a concentración de la carga de los iones presentados en la solución, cuando la fuerza iónica es alta o sea a concentraciones altas de sales como NaCl, los iones compiten con la proteína por el agua, por lo tanto son más probables las interacciones proteína –proteína, que las interacciones proteína –agua. Bermúdez *et al.*, (1995).

1.1.6 Digestibilidad de proteínas. Se define como la proporción de nitrógeno del alimento que es absorbida tras su digestión y según. Mataix (2006) es un índice de la calidad de la proteína su utilización digestiva juzgada por el coeficiente de digestibilidad. En las proteínas se mide a partir de balances de nitrógeno, este valor se encuentra en proteínas de origen animal un intervalo de 95 % a 97 % para el huevo, la leche, queso, carne y para vegetales como leguminosas entre un 94 % y 78 % respectivamente y para el

maíz es de 85 % pero pueden disminuir hasta en un 70 % tras los procesos térmicos y de refinación. Fennema (2000).

McDonald (1986) define la digestibilidad de las proteínas en un alimento como proporción del alimento que no es excretado con las heces y que se supone, ha sido absorbido; después del proceso de cocción es usualmente más alta que el de la proteína cruda, como consecuencia del desdoblamiento o estiramiento de la proteína al desnaturalizarse permitiendo que las enzimas del tracto digestivo las hidrolicen más fácilmente.

1.2 CEREALES

1.2.1 Introducción a los cereales. Los cereales son las semillas comestibles de las plantas herbáceas (gramineae). La principal característica de esta planta es su grano conocida como “cariopsis” Dendy (2004). Son los cultivos masivos más eficientes, se producen en zonas tropicales hasta subtropicales, con altas temperaturas y precipitaciones pluviales, en lugares más inhóspitos y desérticos. El cultivo es anual o no perenne y dan la oportunidad de producir en aquellas regiones donde las condiciones climatológica requieren una planta que se desarrolle y madure en un corto periodo de tiempo (90-130) días o que aproveche los ciclos estacionarios de lluvias y deshielos. Es no perecedero, puede ser almacenado para utilizarse como alimento o conservado como semilla para siembra. Othon (1996).

1.2.2 Usos generales de los cereales. Son sujetos a múltiples operaciones o segmentos industriales, su uso se divide en tres categorías: a) uso del grano entero o decortinado; b) uso de productos de molienda seca (harinas, etc.) y húmeda (almidón); c) industrialización del grano entero o fracciones de molienda por medio de procesos de panificación, fermentación (bebidas alcohólicas y productos fermentados), almidón producción de almidones modificados, edulcorantes o jarabes y manufactura de botanas y cereales para el desayuno. De acuerdo con su uso se clasifica en suave, duro y cristalino y los dos primeros se usan para elaboración de harinas, los trigos cristalinos son molidos en una fracción más gruesa para manufactura de pastas extruidas y trocadas. Dendy *et al.*, (2004).

1.2.3 Valor nutricional de los cereales. Los cereales proveen aproximadamente el 50% del consumo calórico a nivel mundial. Krause (2000). El almidón es el carbohidrato más abundante por lo tanto el principal aportador de energía bruta y digestible, está en un 25% amilosa y 75% de amilopectina. La mayoría de los procesos de preparación gelatiniza parcial o totalmente los gránulos haciendo las moléculas de amilosa y amilopectina más susceptible al ataque de enzimas pancreáticas. Cuando los cereales son sometidos a efectos térmicos el almidón pierde parte de su disponibilidad. Othón (1996).

En cuanto a la calidad y cantidad de fibra se consideran fuente rica de fibra dietética esta fracción es indigestible en el organismo humano existen marcadas diferencias en la composición y calidad de la fibra debido a la clase de cereal y procesamiento la fibra se encuentra en la cariósida por lo tanto los productos refinados adolecen de este compuesto. Othón (1996).

Los cereales proveen el 50% de proteína de calidad proteica limitada debido a que esta no es totalmente digestible por las diferentes fracciones proteicas y presenta una deficiencia en el contenido de aminoácidos esenciales que no satisfacen el requerimiento humano. La lisina es un aminoácido limitado. Othón (1996). El aporte nutricional se afecta en el procesado, debido que durante la molienda, fermentación, germinación, cocimiento ácido y alcalino se altera la composición y la disponibilidad de los nutrientes. Suskind (1985), es decir, disminuyen la cantidad de fibra, vitaminas y minerales mientras que el tratamiento térmico directo o presencia de agua mejora la digestibilidad del almidón, la fermentación y o germinación mejora la calidad proteica, la digestibilidad y cantidad de algunas vitaminas Othón (1996).

1.2.4 Proteínas de los cereales. Los granos de cereales constituyen uno de los mayores aportes de proteína comestible y la variedad de cereales difieren de país a país.

Las proteínas que contienen los cereales no se distribuyen uniformemente en el grano; el 80% está en el endospermo en el cual se encuentran las prolaminas que son proteínas de

reserva cuya función es almacenar el nitrógeno y el carbono en la planta tienen aminoácidos como prolina y glutamina. Umaña *et al.*, (2012).

Las glutelinas son solubles en álcalis (pH 12) y ácidos (pH 2-9) las albuminas y las globulinas que son proteínas citoplasmáticas tienen funciones metabólicas y estructurales, Astiasaran *et al.*, (2000); Cafaro (2006).

Polímeros ligados a enlaces disulfuros y se clasifican en grupos de alto peso molecular (HMW) rico en azufre (S), (HMW) bajo en azufre (S) y con bajo peso molecular (LMW). Hoseney (1991). Y se encuentran entre el 3-12% aparecen en el germen y en el resto en la cascarilla. Todos los cereales contienen albuminas, globulinas y prolaminas, aunque la proporción en cada grano difiere y las propiedades de cada cereal dependen de la composición de sus diversas fracciones proteicas. Las globulinas que son solubles en soluciones salinas y diluidas, las prolaminas que son solubles en etanol, entre el 50-80%.

Tabla 1. Fracciones de proteínas en cereales de arroz y trigo expresados como porcentaje de proteína total.

Cereal	albúminas	Globulinas	Glutelinas	Prolaminas
Arroz	5	10	80	5
Trigo	5	10	16	69

Fuente: Bermúdez *et al.*, 1995

El trigo se caracteriza por las propiedades viscoelásticas que presenta el gluten que está constituido en su mayor parte gliadinas y glutelinas. El gluten es una fracción lipoproteína y por lo tanto es insoluble en agua, presenta gran capacidad de hinchamiento lo que hace que forme masa elástica debido a las glutelinas que son de alto peso molecular y extensible a las gliadinas. Bermúdez *et al.*, (1995).

Dos de los factores ambientales que pueden alterar la cantidad y composición de las proteínas de modo más notorio son la disponibilidad de N y las altas temperaturas durante el periodo de llenado de los granos. Cafaro (2006).

1.2.5 Las proteínas y los aminoácidos en el organismo. Son importantes para la obtención de energía y son el segundo almacén más grande de energía en el organismo, después del tejido adiposo y las reservas de grasas en los tejidos. Las reservas de proteína deben conservarse para un gran número de funciones críticas en el cuerpo, pues la pérdida de más del 30% de esta reduce la masa muscular, disminuye la función inmunitaria y la función de los órganos declina hasta producir la muerte. Shills *et al.*,(2002). Se requiere como parte de la dieta diaria ocho aminoácidos que el organismo no puede sintetizar también denominados aminoácidos esenciales (leucina, isoleucina, valina, fenilalanina, triptófano, lisina, metionina y treonina) quienes son una fuente de nitrógeno para la biosíntesis de otros componentes proteínicos importantes en el cuerpo como enzimas y hormonas y anticuerpos. Feldman (2001).

1.2.6 Clases de cereales

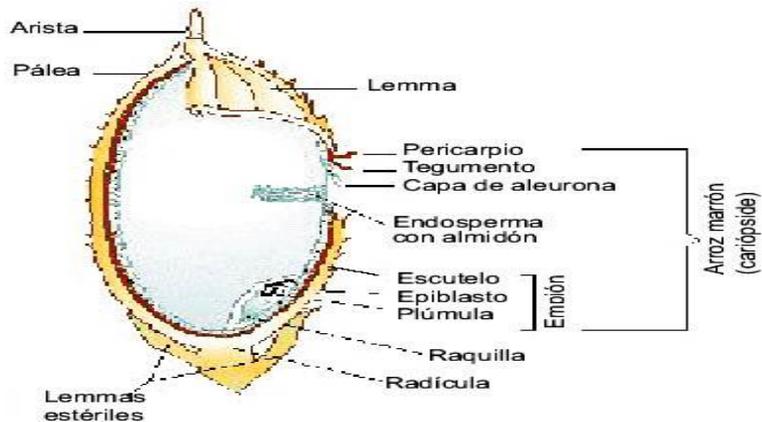
1.2.6.1 El arroz. La agroindustria arroceras por medio de los procesos de secamiento y molinería, busca la transformación de arroz paddy (o cáscara) en arroz blanco y otros subproductos listos para el consumo. Para su procesamiento, el arroz paddy llega al molino regularmente con un porcentaje de humedad que oscila entre 18% y 25%, y con cierto contenido de impurezas, así que el producto es sometido a una pre-limpieza y reducción del porcentaje de humedad hasta un 13%, con el objeto de preparar el paddy verde para la trilla y el almacenamiento. Los principales productos del proceso de molinería son el arroz blanco, Una vez efectuado el proceso de trilla (que consiste en retirar la cáscara al paddy), se obtienen los primeros dos subproductos: el arroz integral (o brown) y la cascarilla del arroz. Espinal (2005) Esta última se considera como desecho, aunque en ocasiones es usada como combustible para el proceso de secamiento, o en viveros y cultivos, pero aún en

forma incipiente. Finalmente, el arroz blanco entero se destina directamente al consumo humano o se muele para obtener harina de arroz. Reque (2007).

- **Estructura del grano de arroz.** Están formados por capas superpuestas que tienen diferente estructura y composición nutricional (ver figura 1). Son relativamente grandes y contienen en su interior la semilla. En algunos casos las cariopsisides pueden ser vestidas, como es el caso del arroz, que presentan una cáscara o cubierta que envuelve el fruto. Malca (2006).

El fruto, un grano, se dispone en una panícula formada por varias espiguillas que crece en el ápice del tallo. El endospermo blanco está encerrado en una membrana de salvado rodeada a su vez por una cáscara de color castaño (ver figura 1). Malca (2006).

Figura 1. Estructura del grano de arroz



Fuente: Malca, 2006

El pericarpio es la cubierta del fruto, y forma una parte del salvado. Es la capa que mayor proporción de fibra. Se divide en dos: Exterior, conocida como alas de abeja, e interior formada por el endocarpio y una serie de células intermedias. Es rico en proteínas, contiene una proporción de lípidos y no contiene almidón. La semilla es la estructura en el interior

del pericarpio, está formada por capas, la testa es la cubierta de la semilla, que el color, el endospermo de la semilla.

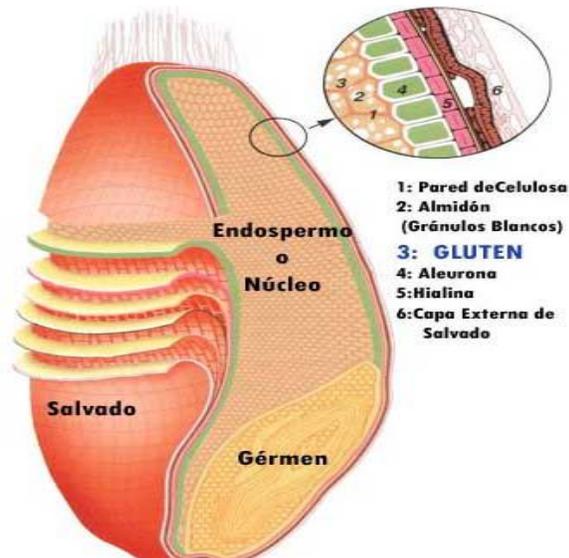
Es el tejido nutritivo de los cereales y es el lugar de reserva de hidratos de carbono de los cereales (almidón), posee pequeñas cantidades de vitaminas, enzimas y ácidos grasos. El germen es la base de lípidos de la que se extrae la grasa (el aceite) de los cereales, aunque también contiene enzimas y almidón la capa de aleurona junto con las demás capas forman el salvado de los granos. Dendy *et al.*, (2004).

1.2.6.2 El trigo.Trigo pertenece al género *Triticum* de la familia *Gramineae* es el término que designa al conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum* son plantas anuales de la familia de las gramíneas, ampliamente cultivadas en todo el mundo. La palabra trigo designa tanto a la planta como a sus semillas comestibles, tal como ocurre con los nombres de otros cereales.

El trigo (de color amarillo) es uno de los tres granos más ampliamente producidos globalmente, junto al maíz y el arroz y el más ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. El grano del trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios. Dendy *et al.*, (2004).

- **Estructura del trigo.** Es una planta anual alta, de 1,2 m por término medio. Las hojas, parecidas a las de otras gramíneas, brotan muy pronto y van seguidas por tallos gráciles rematados por las espigas de grano (ver Figura 2).

Figura 2. Estructura de una semilla de trigo (corte longitudinal).



Fuente: Malca, 2006

Germen o embrión se localiza en el centro o núcleo de la semilla el endospermo es la estructura harinosa o feculenta que envuelve al embrión y que le proporciona los nutrientes necesarios para su desarrollo, la testa es la capa exterior laminar que recubre al grano y proporciona nutrientes y vitaminas el pericarpio supone en torno al 3–4% del peso total del fruto (cubierta externa) y consta del epicarpio, mesocarpio y endocarpio y por último la cáscara que es capa más exterior de todas y de cierta dureza, protege a la semilla.

1.2.6.3 Clases de harinas

- **Harina de arroz.** La harina de arroz (también llamada mochiko) es un tipo de harina hecha de arroz molido finamente puede hacerse de arroz blanco o integral para su elaboración se quita la cascarilla y se obtiene así el arroz crudo, que se muele para obtener arroz en polvo o harina de arroz libre de gluten, se aconsejada para las personas celíacas. Hosney (1991).
- ✓ **Obtención de la harina de arroz.** Belitz *et al.*, (1985) indican que en el proceso de molienda de los cereales se busca obtener harinas donde predominen los

constituyentes de las células del endospermo; para lo cual se deben romper cuidadosamente los granos, seleccionar las partes o trozos y separarlos por su tamaño, para así proceder a su desintegración. Los productos finales de la molienda se distinguen en función del tamaño o diámetro de sus partículas, denominándose harinas aquellas que se encuentran entre los 14 a 120 μm , separándose en harinas gruesas (cuando las partículas pueden palparse entre los dedos) y en harinas finas (cuando las partículas no se perciben al tacto), las cuales presentan un rango de tamaño de partículas de 40 a 50 μm . La calidad nutricional de las harinas depende de si éstas se elaboran a partir de granos enteros o fraccionados.

En el caso de las harinas de arroz, no se habla de grado de extracción, sino de rendimiento, ya que éstas se elaboran a partir de granos de arroz pulidos, que han sido sometidos a un proceso de molienda cuyo objetivo es la remoción de la cáscara, del salvado y de la capa de aleurona, para obtener un endospermo relativamente intacto, a diferencia del proceso de molienda del trigo, que busca obtener como producto final harinas con diferentes grados de extracción. Hosney (1986).

El arroz es consumido generalmente como grano entero; sin embargo, durante el proceso de beneficio o pulido, estos granos partidos son los que se utilizan a nivel para la elaboración de harinas de arroz. Luh (1980). La harina de arroz se obtiene gracias al proceso de reducción de tamaño del grano, que por tratarse de un material alimenticio de carácter cristalino, se realiza mediante la aplicación de fuerza mecánica de impacto o percusión, utilizando generalmente el equipo de reducción de tamaño conocido como molino de martillos. Brennan (1970).

Bracho, (2004) señala en su estudio de una empresa procesadora para el proceso de obtención de la harina en arroz partidos o de segunda, que en el caso de la harina de arroz usada para la investigación se usó este tipo de arroz los siguientes pasos:

- ✓ **Recepción de materia prima.** Utiliza como materia prima el arroz partido o de segunda, que se recibe en camiones a granel o empacado en sacos.
 - ✓ **Almacenamiento.** Los granos de arroz se almacenan en silos destinados para tal fin. Cuando los silos están llenos se fumigan con una solución, para evitar la contaminación por insectos.
 - ✓ **Limpieza.** Permite eliminar todo tipo de impurezas, como paja, trozos de palos pequeños y tierra. Se realiza por medio de un entoleter, en el cual existe un succionador de aire que arrastra las impurezas. Este arroz es llevado a los silos de arroz limpio.
 - ✓ **Molienda.** Consiste en la fragmentación y pulverización de los granos de arroz. Para esta operación, la empresa cuenta con seis molinos de martillo, que permiten obtener harinas con una gran variedad de tamaño de partícula, con diámetros que van desde 1,6 mm. Hasta menos de 0,064 mm.
 - ✓ **Separación.** Busca la separación de la harina de arroz, del aire que se utiliza para transportarla. Para ello se utiliza una bomba que succiona la harina a través de un medio filtrante, pasando el aire y quedando la harina retenida en el medio, que por medio de golpes a contrapresión, producidos por aire inyectado al medio filtrante, provoca la caída de la harina por gravedad, hacia el siguiente paso.
 - ✓ **Cernido.** Permite clasificar la harina, haciendo uso de cernidores excéntricos, que constan de siete pasos. Cada paso consiste en una gaveta con una malla metálica, empleada para tamizar la harina. Todas las mallas de las gavetas son iguales, por lo que permiten obtener dos tipos de productos, la harina final y el material con sobre tamaño denominado remolido, el cual es devuelto a los molinos para ser reprocesado. Techeira (2006)
- **Composición química de la harina de arroz.**
 - ✓ **Contenido de Humedad.** La harinas se caracterizan por tener gran higroscopicidad o elevada capacidad de absorción de agua y esto se expresa como porcentaje de humedad lo cual favorecería el desarrollo de ciertos microorganismos, como hongos y levaduras quienes son responsables de la aparición de procesos

fermentativos indeseables en este tipo ejemplo *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, frecuentes en productos derivados de cereales, pueden producir micotoxinas, representando un peligro sanitario potencial para el ser humano y para los animales. El contenido de humedad varía según el método de molienda empleado en la elaboración de las harinas en el caso de la harina de arroz el menor contenido de amilosa, presentó el porcentaje más bajo de humedad, debido posiblemente, a que la gran cantidad de amilopectina presente en este tipo de granos, posee una menor capacidad de absorción de agua que la fracción de amilosa. Techeira (2006).

- ✓ **Cenizas.** Es la cantidad de residuo inorgánico o mineral, que queda una vez que la muestra alimenticia ha sido sometida a un proceso de incineración, a una temperatura lo suficientemente elevada, como para eliminar toda la materia orgánica presente, sin que ocurra la descomposición de los componentes minerales y compuestos como los óxidos de nitrógeno, los carbonatos, fosfatos, silicatos y cloruros (de potasio, calcio, sodio y magnesio, principalmente). Desrosier (1983).

Park *et al* (2001), determinaron la cantidad de cenizas presentes en diferentes muestras de harina de arroz refinado (y comprobaron que un alto grado de molienda o pulido de los granos, está asociado con un bajo contenido de cenizas en las harinas, ya que esta fracción se ubica hacia las partes externas del grano, es decir, en la cáscara y el salvado. Por lo tanto, la cantidad de cenizas presentes en las harinas de arroz pulido, es un indicativo de su riqueza en salvado y por ende, de su grado de contaminación. Chen (1999), también evaluaron el contenido de cenizas en harinas de arroz, obtenidas por diferentes métodos de molienda seca, semi-seca y húmeda.

- ✓ **Proteínas.** Azhakanandam *et al.*, (2000), indican, que el mayor contenido proteico se ubica hacia las capas más externas del grano, existe cierta cantidad de proteínas en el endospermo, que se corresponden con un 7 a 18% de albúminas y globulinas, 5 a 12% de prolaminas y el resto de glutelinas, las cuales forman una matriz proteica que contiene a los gránulos de almidón.

Zhou *et al.*, (2002), señalan que las harinas de arroz pulido, suelen tener un menor contenido de proteínas que la fracción proteica disminuye al incrementar el grado de pulido, ya que ésta es más abundante en las capas externas del grano en las harinas de granos de arroz pulidos varía desde 6,2 hasta 6,9% . Basak *et al.*, (2002).

Park *et al.*, (2001), evaluaron el efecto de la intensidad del pulido de granos de arroz moreno, sobre la cantidad de proteínas presente en las harinas elaboradas a partir de los granos pulidos donde se puede observar que al incrementar el porcentaje de remoción de la cascarilla, del salvado y de las capas de aleurona y sub-aleurona, disminuye el contenido de proteínas en las muestras de harina analizadas. Houston *et al.*, (1964), manifiestan que las harinas de arroz que presentan un elevado contenido de proteínas, son aquellas que se obtienen por incorporación de salvado del grano, ya que las capas más externas son las que contienen la mayor cantidad de proteínas. Así mismo, Houston *et al.*, (1968). En otro estudio. Houston *et al.*, (1964), manifiestan que las harinas de arroz que presentan un elevado contenido de proteínas, son aquellas que se obtienen por incorporación de salvado del grano, ya que las capas más externas son las que contienen la mayor cantidad de proteínas. Así mismo, Houston *et al.*,(1968), reportaron la obtención de harinas de arroz, enriquecidas con estas capas externas, las cuales presentaban un elevado contenido de proteínas y otros nutrientes importantes, tales como calcio, fósforo, lípidos, tiamina, niacina y riboflavina. Chen *et al.*, (1999), determinaron que el contenido de proteínas también varía de acuerdo al método de molienda empleado en su elaboración, ya que al obtener harinas a partir de dos variedades de arroz diferentes, haciendo uso de diversos métodos de molienda. Tablante (1989), explica como el contenido de proteína presente en las harinas de arroz, no solo está determinada por su grado y forma de procesamiento y que las prácticas de cultivo, el tipo de suelo y las condiciones climáticas también pueden modificar los valores de proteína en los granos de arroz, que se utilizan como materia prima para la elaboración de las harinas y la variedad de arroz que se utilice relacionadas con el mayor contenido de amilosa. Kennedy *et al.*, (1974).

Por otra parte, cuanto mayor es la fracción de amilosa, mayor será la capacidad de las proteínas presentes en el endospermo, y específicamente de la fracción de glutelinas, para formar enlaces disulfuro, los cuales hacen a los gránulos de almidón hinchados menos susceptibles al rompimiento. Cuando los enlaces disulfuro creados por las glutelinas se rompen, los gránulos del almidón de arroz aparentemente se hinchan hasta alcanzar una forma alargada, incrementando su grado de gelatinización y la fuerza del gel. Zhou *et al.*, (2002).

- ✓ **Lípidos.** La cantidad de lípidos en harinas se conoce como bajo la denominación de grasa cruda, es primordial su determinación, debido a que éstas son productos que se caracterizan por tener manifestación de olores y sabores indeseables, disminuyendo seriamente la calidad y aceptabilidad del producto, la mayor cantidad de grasa o lípidos, está presente principalmente en la fracción de salvado, donde constituye más del 20% de la masa seca del mismo. Begum *et al.*, (2000).

Park *et al.*,(2001), determinaron que el contenido de grasa en harinas provenientes de granos de arroz paddy pulidos, se ve afectado por el grado de molienda, ya que el porcentaje de lípidos presente en las diferentes muestras de harina disminuye a medida que se incrementa la intensidad del pulido de los granos, debido a que la mayor cantidad de lípidos se encuentra en la cascarilla y en el salvado del grano, que son removidos durante el proceso de molienda.

El método de molienda empleado en la elaboración de harinas de arroz, también influye sobre su contenido de lípidos, pues al analizar harinas obtenidas a partir de dos variedades de arroz diferentes, empleando los métodos de molienda seca, semi-seca y húmeda, se determinó que su contenido de lípidos fue superior en las harinas elaboradas por molienda seca.

Chen *et al.*, (1999). Los lípidos del arroz, generalmente se clasifican como amiláceos (asociados con los gránulos de almidón), y no amiláceos (distribuidos en todo el grano, pero concentrados en el salvado). En la harina de arroz, generalmente los

lípidos amiláceos constituyen del 0.5 a 1%, y son más abundantes que los lípidos no amiláceos, aunque la proporción bajo la cual se encuentran ambas fracciones, también depende de la variedad de arroz en estudio. La existencia de lípidos que forman complejos con el almidón tiene ciertas consecuencias, ya que la formación del complejo influye directamente sobre su transformación en almidón resistente, debido a que los gránulos de almidón acomplejados con grasas no pueden ser absorbidos por el intestino delgado de individuos sanos. Biliaderis *et al.*, 1991).

Kennedy *et al.*, (1974), establecieron que la cantidad de lípidos presentes en las harinas de arroz, está determinado por la variedad de grano empleado en la elaboración de las mismas y específicamente por su contenido de amilosa, en aquellas harinas elaboradas a partir de granos de arroz largos, con un mayor contenido de amilosa, presentan un menor porcentaje de lípidos, debido probablemente a que la fracción de amilosa forma complejos con los lípidos presentes en las harinas, por lo que éstos no pueden ser cuantificados en el momento del análisis.

Bryant *et al.*, (2001), determinaron la cantidad de lípidos presentes en harinas de arroz obtenidas comercialmente, comprobaron que aquellas elaboradas a partir de granos de arroz cortos cerosos, con un bajo contenido de amilosa, fueron las que mostraron el mayor porcentaje de grasa cruda; mientras que las harinas provenientes de granos de arroz largos y de arroz parbolizado, presentaron una menor cantidad de lípidos.

- ✓ **Almidón.** El almidón está considerado como uno de los constituyentes más importantes en los productos derivados de cereales, y su composición está determinada por las fracciones de amilosa y amilopectina. El contenido de amilosa en los cereales varía según la variedad, y específicamente para el arroz, éste se encuentra entre 0-2% para los granos cerosos y 25% para los granos de arroz no cerosos. Juliano (1985).

Las características de cocción, la textura, la capacidad de absorción de agua, el grado de pegajosidad, la expansión de volumen, la dureza y hasta el color de las harinas de arroz, están afectadas por el contenido de amilosa. En este sentido, las harinas de variedades cerosas, que presentan gránulos de almidón con un mayor contenido de amilopectina, no son capaces de gelificar por falta de amilosa. En cambio, los almidones que tienen en promedio, cadenas muy cortas de amilopectina, desarrollan temperaturas de gelatinización muy bajas. Zhou *et al.*, (2000).

Luh (1980), indicó que la harina de arroz ceroso, que contiene menos de 0,5% de amilosa en el almidón y una cantidad apreciable de α -amilasa, desarrolla una viscosidad similar a la de las harinas de maíz y sorgo cerosos. Este tipo de harina, alcanza una viscosidad máxima inferior a la que se logra con las harinas de arroz de grano corto, debido probablemente a su actividad amilolítica.

- **Propiedades de la harina de arroz.**

- ✓ **Características físicas y físico - químicas.**

- **Color.** En función a esto, los productos alimenticios pueden ser clasificados como opacos, translúcidos o transparentes. Mabon (1993); Desrosier (1983) indica que la evaluación del color en las harinas es muy importante, ya que éste se considera como un atributo de calidad que determina la apariencia de estos productos alimenticios, y por consiguiente, su aceptabilidad por parte del consumidor.

El color de las harinas refinadas, varía en función del grado de molienda de los granos, ya que harinas obtenidas a partir de granos sometidos a un intenso pulido, serán más blancas que aquellas elaboradas a partir de granos de arroz con un pulido deficiente o de granos integrales. Kent (1971).

Park *et al.*, (2001), determinaron el efecto del grado de molienda o pulido de granos de arroz paddy, desde un 8 hasta un 14%, sobre las características fisicoquímicas y

sensoriales de harinas obtenidas a partir de los granos pulidos, y de los granos de arroz cocidos. Entre las propiedades físico-químicas evaluadas, realizaron la determinación del grado de blancura de las harinas, los resultados obtenidos para los diferentes valores de blancura, en función al grado de pulido de los granos de arroz, mostraron que la intensidad del color blanco aumenta al incrementarse el grado de molienda, porque existe una remoción más eficiente de las partes externas del grano, como la cáscara y el salvado, que son las que contienen la mayor cantidad de pigmentos responsables de otorgar las coloraciones amarillas y amarronadas, características de las harinas integral.

- **pH y Acidez titulable.** El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno presentes en disolución, y su valoración permite determinar indirectamente, el valor de acidez actual o activa de un determinado producto alimenticio. El pH de las harinas, se encuentra normalmente alrededor de 6,1; valores más bajos pueden ser considerados como índices de fermentación o de blanqueo con un compuesto clorado. Hart *et al.*, (1984). En cambio, el valor de acidez total o titulable, permite establecer la concentración de compuestos ácidos presentes en el alimento; resultando de gran importancia su cuantificación, ya que éstos determinan la estabilidad del producto, y están asociados con características de sabor y aroma del mismo. Belitz *et al.*, (1985).
- **Capacidad de absorción de agua y solubilidad en agua.** Anderson (1982), señala que la calidad de cocción de productos alimenticios, que utilizan como ingrediente almidones y/o harinas provenientes de los granos de cereales, está determinada por su capacidad de absorción de agua y de solubilidad en agua, propiedades que dependen del contenido de humedad, del tamaño de sus partículas, de la temperatura y del tiempo de calentamiento.

Chen *et al.*, (1999), indican que el poder de hinchamiento y la solubilidad de las harinas de arroz, se ven afectados por el tipo y método de molienda que se utiliza

para elaborarlas. Estos investigadores evaluaron las propiedades físico-químicas y funcionales de harinas de arroz obtenidas a partir de dos variedades de arroz céreo, el tipo japónica y el tipo indica tres tipos de molienda, molienda seca, semi-seca y húmeda, y seis equipos de molienda: molino tipo turbo, de ciclón, de martillos, de discos y de piedras, referidos a la solubilidad y al poder de hinchamiento, donde se puede notar que las harinas obtenidas por molienda húmeda fueron las que desarrollaron un mayor poder de hinchamiento, debido a que los gránulos de almidón fueron capaces de absorber mayor cantidad de agua, una vez separados de los cuerpos proteicos presentes en el endospermo del grano. Sin embargo, las harinas que mostraron una mayor solubilidad en agua, fueron aquellas obtenidas por molienda seca con molino de discos, debido a que este tipo de molienda permite obtener harinas con un pequeño tamaño de partícula, que favorece la solubilidad de estas partículas en agua.

Bicho (1998), determinó el efecto del tratamiento térmico en la harina de salvado de arroz, sobre su capacidad de absorción de agua y en las propiedades funcionales de las proteínas. Utilizó muestras de Remavenca y Central Agrícola, las cuales fueron sometidas a análisis químicos y mineral, presentando diferencias significativas en sus composiciones. Los tratamientos aplicados fueron: To (muestra patrón, congelación -8°C), T1 (estufa a 90°C por 2 horas), T2 (estufa a 105°C por 1 hora), T3 (doble tambor) y T4 (microondas), molidas a 1 mm. El investigador comprobó que los diferentes tratamientos térmicos aplicados a las harinas, mejoraron su capacidad de absorción de agua y de aceite, pero la muestra de harina que presentó los valores más altos fue aquella sometida a tratamiento térmico haciendo uso del doble tambor rotatorio, la cual mostró un incremento del 308,33% en su capacidad de absorción de agua y un 200% en su capacidad de absorción de aceite.

El poder de hinchamiento de las harinas de arroz, también está determinado por la proporción en la cual se encuentran las fracciones de amilosa y amilopectina en el gránulo de almidón, ya que los gránulos de almidón de arroz céreo tienen un poder

de hinchamiento restringido, debido a la gran cantidad de amilopectina presente, lo que se traduce en la ausencia de la estructura de red, característica de las moléculas de amilosa. Tester *et al.*, (1990).

Bryant *et al.*,(2001), establecieron que la capacidad de absorción de agua y de solubilidad en agua, de harinas de arroz obtenidas comercialmente, provenientes de granos largos de la variedad Cypress, de granos cortos cerosos y de granos parbolizados, están determinadas por la cantidad de amilosa presente.

- Digestibilidad proteica de harina de arroz. Casuso *et al.*, (2013) reportaron un estudio con harina de arroz cuyos resultados en la digestibilidad proteica oscilaron entre 54.12 % y 14.90%, Manelius *et al.*,(1996) observaron que los granos de arroz convertidos a harinas presentaban altas tazas de digestibilidad debido no solo a la proteína sino a la cantidad en almidón de este producto y según. Beaner *et al.*,(2001) esto se da por el hinchamiento del gránulo de almidón, esto incide en la calidad proteica de la harina que en gran parte se da por su capacidad para hidrolizarse ya que los aminoácidos son liberados y cumplen su función dentro del proceso digestivo de pasar al torrente sanguíneo. Pincioli (2010).

Cheftel *et al.*,(1993) explicó que factores como las altas temperaturas pueden incidir en la digestibilidad de la harina ya que modifican la estructura secundaria y terciaria de la molécula de proteína y esto se da durante el proceso de desnaturalización, pero que además de esto, la propiedad de solubilidad que presenta el arroz ya que esta aumenta con la temperatura especialmente a temperaturas de entre 0-50 grados centígrados aunque los tratamientos empleados tienen gran responsabilidad de disminuir esa digestibilidad como lo es un tratamiento donde las altas temperaturas con períodos largos de cocción lo que provocaría enlaces indigestibles.

Otro factor que influye sobre la digestibilidad proteica de la harina de arroz corresponde a nivel y origen de la fibra, contenido y tipo de factores nutritivos,

características físicas y químicas de la proteína y las condiciones de procesado a las que ha podido estar sometido el alimento. Priego (2006).

El arroz crudo presenta mayor digestibilidad (93 %) comparado con el cocido (89 %), ya que el tratamiento térmico al que es sometido causa desnaturalización de las proteínas. Juliano (2004).

- **Harina de trigo.** Es un producto del cereal que se obtiene al moler los granos duros, sanos y enteros. Se usa principalmente en productos horneados como el pan, las galletas en productos de repostería y pastelería y como ingredientes en la preparación de recetas de comida como las pastas. Kent (1987).
- ✓ **Obtención de la Harina de Trigo.** La molienda del trigo tiene como finalidad básica la obtención de harinas a partir de los granos de trigo para la fabricación de pan, pastas alimenticias o galletas. Los pasos que se siguen para obtener la harina son:
 1. Limpieza preliminar de los granos, mediante corrientes de aire que separan el polvo, la paja y los granos vano.
 2. Escogido de los granos, mediante cilindros cribados que separan los granos por su tamaño forma.
 3. Despuntado y descascarillado, en esta fase se eliminan el embrión y las cubiertas del grano.
 4. Cepillado de la superficie de los granos, para que queden totalmente limpios.
 5. Molturación, finalmente se pasa a la molienda por medio de unos rodillos metálicos de superficie áspera o lisa, que van triturando el grano y obteniendo la harina.
 6. Refinado, una vez obtenida la harina pasa a través de una serie de tamices que van separando las diferentes calidades de la harina.

Después de la recolección y la trilla que separa la paja del grano de trigo, éste habitualmente se lava y se empapa con agua de modo que su núcleo se rompa adecuadamente.

A continuación en la operación de la molienda, se desmenuza el grano y se hace pasar a través de un conjunto de cilindros apisonadores. Cuando las partículas de menor tamaño han sido cribadas, se introducen las más gruesas a través de nuevos rodillos. La operación se repite hasta conseguir una harina blanca que posee un índice de aprovechamiento medio del 72% respecto de la cantidad inicial de grano. Cuando el porcentaje global extraído supera esta cifra, se obtienen las denominadas harinas integrales y oscuras, que contienen la cáscara del grano además de su meollo. La harina blanca soporta mejor largas temporadas de almacenamiento en silos, al no poseer un alto contenido en aceites vegetales.

- ✓ **Clasificación de la harina de Trigo.** En nuestro país los diferentes tipos de harinas que se utilizan se clasifican de la siguiente manera: harina especial (para pan), harina extra (de menos calidad, pero que se puede mezclar con la especial); y las harinas industriales, que son las que se usan para pastas, galletas y panetones. Se tiene entendido que en Argentina las harinas se clasifican con ceros, como la harina denominada de tres ceros (000) o panadera y la harina de cuatro ceros (0000) o pastelera; que simplemente significa la calidad de la harina, mientras más ceros tenga; más refinada es la harina de tres ceros (000) o panadera, se utiliza siempre en la elaboración de panes, ya que su alto contenido de proteínas posibilita la formación de gluten y se consigue un buen leudado sin que las piezas pierdan su forma. La harina de cuatro ceros (0000) o pastelera, es más refinada y más blanca, al tener escasa formación de gluten no es un buen contenedor de gas. Según sea la tasa de extracción vamos a tener las diferentes clases de harinas. La tasa de extracción de una harina se mide por la cantidad de kilos de harina que obtenemos moliendo 100 kilos de cereal. Reque (2007).

- ✓ **Composición de la harina de Trigo.** Composición de la Harina de Trigo Almidón o Glúcidos 74-76% Gluten o Prótidos 3-11% Lípidos 1-2% Agua 11-14% Minerales 1-2% Elaboración: Propia - Almidón: Es el componente principal de la harina. Es un polisacárido de glucosa, insoluble en agua fría, pero aumentando la temperatura experimenta un ligero hinchamiento de sus granos. El almidón está constituido por dos tipos de cadena: -Amilosa: polímero de cadena lineal. -Amilo: pectina polímero de cadena ramificada. Reque (2007). Junto con el almidón, vamos a encontrar unas enzimas que van a degradar un 10% del almidón hasta azúcares simples, son la alfa y la beta amilasa. Estas enzimas van a degradar el almidón hasta dextrina, maltosa y glucosa que servirá de alimento a las levaduras durante la fermentación. - Gluten: La cantidad de proteínas varía mucho según el tipo de trigo, la época de recolección y la tasa de extracción.

El gluten es un complejo de proteínas insolubles en agua, que le confiere a la harina de trigo la cualidad de ser panificable. Está formado por:

- **Glutenina.** Proteína encargada de la fuerza o tenacidad de la masa.
- **Gliadina.** Proteína responsable de la elasticidad de la masa. La cantidad de gluten presente en una harina es lo que determina que la harina sea fuerte o poco resistente es decir "floja". La harina fuerte es rica en gluten, tiene la capacidad de retener mucha agua, dando masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios. La harina floja es pobre en gluten, absorbe poca agua, forma masas flojas y con tendencia a fluir durante la fermentación, dando panes bajos y de textura deficiente. No son aptas para fabricar pan pero si galletas u otros productos de repostería. - Lípidos: Las grasas de la harina proceden de los residuos de las envolturas y de partículas del germen. El contenido de grasas depende por tanto del grado de extracción de la harina. Mientras mayor sea su contenido en grasa más fácilmente se enranciará, no siendo posible ya su utilización. - Agua: La

humedad de una harina, según la legislación española, no puede sobrepasar el 15%, es decir que 100 kilos de harina pueden contener, como máximo, 15 litros de agua. Naturalmente la harina puede estar más seca. - Minerales: Cenizas casi todos los países han clasificado sus harinas según la materia mineral que contienen, determinando el contenido máximo de cenizas para cada tipo. Las cenizas están formadas principalmente por calcio, magnesio, sodio, potasio, etc., procedentes de la parte externa del grano, que se incorporan a la harina según su tasa de extracción. Reque (2007).

- ✓ **Digestibilidad proteica de la harina de trigo.** Según. Leterme *et al.*, (1989) el trigo es el cereal más digestible seguido del arroz y del maíz, sin embargo, la cantidad de fibra insoluble de éste cereal puede afectar la digestibilidad pues aminoácidos como ácido glutámico, metionina, fenilalanina y cistina presentan mayor absorción y esto explica su alto contenido en las proteínas de reserva de los granos de cereal localizados en el endospermo a diferencia de las otras especies de cereales, lo que supondría mayor accesibilidad para las enzimas digestivas.

Liu *et al.*,(2005) explica que la harina de trigo es deficiente en el aminoácido de lisina, pero que posee fracciones como las prolaminas y gluteninas cuya composición aminoacídica se da en aminoácidos como metionina y treonina lo que le otorga la propiedad de emulsificación, estabilidad, capacidad de retención de agua. González *et al.*, (2000).

Posterma *et al.*, (2004): Wibeto *et al.*, (1999). Indican que la digestibilidad proteica de la harina de trigo depende de sus propiedades de solubilidad que al aumentar su temperatura y la presión facilita el escape de péptidos que son responsables de la digestibilidad proteica y eso es además favorecido por la desnaturalización ya que al desplegarse en su estructura de nativa a secundaria y terciaria aumenta la cantidad de los mismos para ser absorbidos y unido a esto se da mayor hidrólisis. Jambrak *et al.*, (2009).

Morilla *et al.*, (2000) Explica que la constitución básica de harina de trigo particularmente de los granos aumenta la superficie de la molécula y teniendo en cuenta la cantidad de proteína de su composición química está relacionada con el proceso de desnaturalización mejorando la digestibilidad de la misma.

Jondreville *et al.*, (2005), aplicaron el método de computo químico o score de aminoácidos para evaluar la calidad biológica de la proteína del grano de trigo presentando un score químico de 54,5 % y una digestibilidad corregida de 46,88 % con su aminoácido limitante (lisina). Así mismo, Suárez *et al.*, (2006) determinaron que el germen de trigo presenta un score de 100 % y una digestibilidad de 81,00 % sin aminoácido de defecto y el salvado de trigo presenta un 77,4 % de score y 66.61 % de digestibilidad corregida con un aminoácido limitante (lisina).

- **Métodos para determinar la digestibilidad proteica en alimentos.** La calidad de una proteína representa el grado de aproximación química de la proteína de la dieta respecto a la del cuerpo y para ello se han establecido distintos índices que estiman la calidad de la proteína.

- ✓ **Método de coeficiente de digestibilidad. (CD).** Juzgado por su utilización digestiva y establece el porcentaje de proteína o nitrógeno absorbido respecto al ingerido este parámetro es más elevado en las proteínas animales (97% para las del huevo y proporcionalmente inferiores para carne, pescado y leche) y menor para los vegetales (hasta el 85% para las proteínas de trigo, 90% maíz y menos del 85% leguminosas).Hernández *et al.*, (1999).

- **Coficiente de digestibilidad aparente.** Se considera como porcentaje de nitrógeno ingerido que no aparece en las heces. Para el cálculo hay que corregir el dato anterior restando el nitrógeno fecal medido con dieta carente de nitrógeno aunque frecuentemente no se calcula sino se estimad en 12 mg de peso corporal. Hernández *et al*, (1999).

Digestibilidad aparente= $(NA/NI) \times 100$

Donde NA= nitrógeno absorbido y NI=nitrógeno ingerido por 100

- **Coefficiente de digestibilidad verdadera. Se calcula con la siguiente formula.**
Digestibilidad verdadera = $(N \text{ ingerido} - (N \text{ fecal} - N \text{ fecal dieta aprotéica}) / N \text{ ingerido}$.
- **Métodos biológicos.** Se basan en estudios de laboratorio donde se determina la ganancia de peso en retención al nitrógeno en cuyos ensayos los animales experimentales se alimentan con dietas que contengan la proteína a analizar dentro de estos métodos esta:
 - **Relación de la eficiencia de proteína (PER) o coeficiente de eficacia de crecimiento (CEC).** Que equivale al aumento de peso de un animal en crecimiento dividido por su ingestión de proteínas durante el periodo de estudio. Krausse (2000) pero establece el porcentaje de proteína o nitrógeno absorbido respecto al ingerido. Mataix (2000).
 - **Utilización neta de la proteína (NPU).** Compara la ingestión de nitrógeno durante un periodo de tiempo con el contenido de nitrógeno del cuerpo de un animal muerto después de quitarle la piel, vísceras, miembros y cabeza. Krausse (2000).
 - **Valor Biológico de la proteína.** Se define como el porcentaje de nitrógeno retenido con respecto a la absorbido y se refiere posteriormente a 100 Para ello a animales en crecimiento se les administra una dieta cuya única fuente de nitrógeno sea la proteína problema y que este en cantidades inferiores a las de mantenimiento determinando cantidades de nitrógeno excretado en orina y heces. Mataix (2009).
- ✓ **Métodos químicos.** Se calcula el valor nutritivo de la proteína determinando su contenido de aminoácidos y comparando su riqueza en aminoácidos esenciales con

la de una proteína patrón ideal; generalmente se utiliza el patrón dado por la (FAO, 1991).

- **Cómputo químico o Aminoquímico.** Se basa en la composición de los aminoácidos de las distintas proteínas e intenta clasificarlas de acuerdo a su calidad. Este índice parte del supuesto de que la escasa calidad de una proteína depende de su eficiencia relativa en algunos de los aminoácidos esenciales para ello es necesario tomar una proteína patrón o proteína ideal para lo que se eligió la proteína del huevo. De esta forma se determina el porcentaje de exceso o defecto de los aminoácidos de la proteína problema con respecto a la proteína estándar. A partir de estos resultados se estableció el concepto de aminoácido limitante, como aquel en que era más deficiente la proteína problema con respecto al patrón y el cómputo químico de esa proteína era el porcentaje de deficiencia de ese aminoácido. Mataix (2009).
- ✓ **Métodos enzimáticos.** Se basan en crear un medio muy similar al del organismo, simulando una digestión gástrica.
- **Digestibilidad in vitro.** La digestibilidad in vitro es un proceso de laboratorio donde se emplean las proteínas con enzimas como la pepsina y la pancreatina o con una mezcla de tripsina, quimiotripsina y peptidasa intestinal porcina. Se ha demostrado que los métodos *in vitro* e *in vivo* tienen una correlación entre 0,9 y 0,99, por lo que se recomienda utilizar los métodos *in vitro* en estudios nutricionales. Hsu *et al.*, (1977); Arteaga *et al.*, (2006). En el caso de la pepsina es una enzima que en presencia de un medio ácido desdobla la proteína del alimento, colocando una muestra de materia prima que se desea analizar en una solución que contenga pepsina, para que la pepsina digiera la proteína requiere de un pH bajo en el estómago, la pepsina en forma de (proenzima o pepsinogeno) y el ácido clorhídrico son secretados simultáneamente en el análisis de digestibilidad de pepsina se añade el mismo ácido a la solución de pepsina y se mide la cantidad de proteína digestible para poder estimar el valor nutritivo relativo de dicha materia

prima como la harina de trigo y harina de arroz, cuyas condiciones son más complejas para simular en el laboratorio por tal razón el resultado de la digestibilidad in vitro no se puede confundir con la digestibilidad verdadera. El porcentaje de digestibilidad se determina en forma habitual para los tratamientos de pepsina y ácido. Castro *et al.*, (1994). El valor final de pepsina digestible corregida para ácido se calcula de la posterior forma:

$$100(P-A) - (100-A)$$

En donde P= porcentaje de nitrógeno digestible en pepsina y A =porcentaje de Nitrógeno soluble en ácido.

Tabla 2. Digestibilidad de las proteínas en varios alimentos

Fuente de Proteína	% de Digestibilidad	Fuente de Proteína	% de Digestibilidad
Huevos	97	Mijo	79
Leche, queso, pescado	95	Frijoles	88
Carne	94	Cacahuates	94
Maíz	85	Harina de soya	86
Arroz (pulido)	88	Refinado de proteína de soya	95
Trigo (entero)	86	Alubias	78
Harina de trigo (blanca)	96	Maíz, cereal	70
Gluten de trigo	99	Trigo, cereal	77
Harina de avena	86	Arroz, cereal	75

Fuente: FAO, 1991.

Tabla 3. Calidad de las proteínas del arroz, trigo y otros cereales.

Cereal	Calidad de la Proteína(% respecto a Caseína)
Maíz común	32,1
Maíz opaco	96,8
MCP	82,1
Arroz	79,3
Trigo	38,7
Avena	59
Sorgo	32,5
Cabada	58
Mijo	46,4
Centeno	64,8

Fuente: FAO, 1993.

Los cereales como el arroz, el trigo, la cebada y el maíz se consideran ricos en metionina y muy pobres en lisina; es decir, se encuentran en menores cantidades a las del patrón ideal; de tal manera que su calidad proteica se encuentra limitada. Por otra parte, cabe mencionar que la calidad de las proteínas en los alimentos también puede verse afectada durante diversos procesos como la pasteurización, la deshidratación y la condensación. Astiasaran *et al.*, (2000); Fennema (2000). Existen otros factores que pueden influir, como son los antinutrimientales, que son aquellas sustancias presentes en el alimento, que tienen la capacidad de reacciones o interferir con un nutrimento, disminuyendo su disponibilidad en el organismo. Espinal *et al.*, (2005). Las proteínas de los alimentos vegetales contienen también otros factores antinutrimientales, como taninos y fitatos; siendo estos últimos quienes intervienen con las proteínas y los minerales. Fennema (2000).

Dado que la calidad nutricional de las proteínas puede variar de modo considerable y verse afectada por diversos factores es necesario disponer de métodos que permitan valor su calidad. Las determinaciones de la calidad proteica de los alimentos son útiles para:

Determinar la cantidad que se precisa para proporcionar una tasa de aminoácidos esenciales que asegure el crecimiento y el mantenimiento.

Seguir los cambios del valor nutritivo de las proteínas durante el procesado, de modo que se puedan elegir condiciones que minimicen la pérdida de calidad.

1.2.7 Análisis para determinar la estabilidad térmica de las proteínas de arroz y trigo

1.2.7.1 Calorimetría de barrido diferencial (DSC). Es una técnica termo-analítica que permite hallar la diferencia de calor entre una muestra y una muestra referencia y es medida como una función de la temperatura. La muestra y la referencia son mantenidas aproximadamente a la misma temperatura a través de un procedimiento. Esta técnica permite estudiar la energética de transiciones de plegamiento y desplegamiento de las proteínas y permite la caracterización termodinámica de los cambios conformacionales inducidos por cambios de temperaturas en proteínas. Lara, (2000) en ácidos nucleicos y biomembrana según Freire *et al.*, (1990) la calorimetría diferencial de barrido registra la capacidad calorífica de una solución proteica o de cualquier molécula en función de la temperatura, obteniéndose lo que se llama termograma este presenta un pico de absorción de calor correspondiente a un proceso de transición térmica inducida correspondiente al proceso endodérmico. Sánchez (1995).

Hay tres tipos de información que se puede obtener de a partir de la calorimetría diferencial de barrido. Cooper *et al.*, (1994).

1. La capacidad calorífica parcial absoluta del compuesto de interés.
2. los parámetros termodinámicos globales (cambios de entalpías, de entropía y energía Gibbs y la capacidad calorífica asociadas a transición inducida por temperatura.).
3. La función de la partición y concomitantemente la población de los estados relevantes del sistema y sus parámetros termodinámicos. Jambrak *et al.*, (2010).

El principio básico subyacente a esta técnica es que, cuando la muestra experimenta una transformación física tal como una transición de fase, se necesitará que fluya más (o menos) calor a la muestra que a la referencia para mantener ambas a la misma temperatura.

El que fluya más o menos calor a la muestra depende de si el proceso es exotérmico o endotérmico, Zhu *et al.*, (2006). Por ejemplo, en tanto que una muestra sólida funde a líquida se requerirá que fluya más calor a la muestra para aumentar su temperatura a la misma velocidad que la de referencia. Esto se debe a la absorción de calor de la muestra en tanto ésta experimenta la transición de fase endotérmica. Ahora desde sólido a líquido por el contrario, la muestra experimenta procesos exotérmicos (tales como una cristalización) y se requiere menos calor para alcanzar la temperatura de la muestra. Valencia (2009).

- ✓ **El calorímetro diferencial de barrido.** La micro-calorimetría es usada para la caracterización termodinámica de biopolímeros de varios tipos particularmente proteínas y polinucleotidos. Estos equipos tienen en común características como:
 1. Que la medida de la capacidad calorífica se hace en modo diferencial (se mide la diferencia de capacidad calorífica entre dos células lo más idénticas posibles) y de manera continua, es decir calentando o enfriando la muestra a velocidad constante.
 2. No poseen una agitación mecánica para evitar aportar calor por efecto joule, que podría ser mayor al efecto calorífico.
 3. Funciona de modo adiabático.
 4. El conjunto de células es fijo lo que permite una mayor reproductibilidad en los datos. Lara (2000)
- ✓ **Análisis de los termogramas.** La función de capacidad calorífica molar parcial de la proteína en disolución en función de la temperatura, para las condiciones experimentales de un estudio, a partir de esta función es posible obtener la información termodinámica del proceso de desnaturalización térmica en el caso, que el proceso de desnaturalización transcurra en equilibrio, es necesario suponer un modelo según, Lara (2000) y estos modelos están basados en formulaciones matemáticas que se utilizan para el análisis de los termogramas.

Muchas proteínas presentan un proceso de desplegamiento de un estado nativo(N) con una estructura plegada y el estado desnaturalizado o desplegado (D) que desde

el punto de vista de, Bach *et al.*,(1980) termodinamicamente y estadísticamente estos estados (N)y(D) son en realidad dos macro estados formados cada uno de ellos por multitud de microestados que difieren muy poco en la entalpía, el desplegamiento de estas proteínas se describirse cuantitativamente mediante el modelo de equilibrio de los dos estados.

1.2.7.2 Estabilidad térmica en harina de arroz. Cuello *et al.*, (2012) Encontraron que existe las Temperaturas de gelatinización en harinas de arroz varían dependiendo del grano y su variedad ya que el contenido de amilosa no es igual para cada tipo de harina y esta amilosa tiene la propiedad de hidrolizar lo que disminuye su afinidad por el agua y hace que se requiera una mayor energía para incorporarla a la estructura

Morales *et al.*, 2014) compararon harinas de arroz de la variedad Indica y Japónica observando temperatura de gelatinización (T_p) en el rango de 66.1-79.4°C con entalpía (H) valor entre 3.4 a 8.1 J / g; la cocción de esta produce gelatinización del almidón y este polímero interactuaba con la proteína para formar adsorción reversible, que influye en la adherencia de la harina de arroz. Chrastil (1993).

Las temperaturas de transición de fase (T° pico), son características de gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas, la caracterización de las harinas permite proyectar aplicaciones en la formulación de alimentos, entre ellos panificados libres de gluten Umaña, (2012). En muchos alimentos los efectos fisicoquímicos pueden ser observados en el rango de temperatura de -50 °C y 300°C, estos fenómenos pueden ser endotérmicos como fusión, gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas Lörinczy (2004).

Los termogramas de cada tratamiento muestran unas temperaturas entre 40 y 50°C, la desnaturalización de proteínas puede presentarse entre 60 y 80°C y gelatinización parcial o total del almidón, se presenta entre 50 y 70°C, igualmente la presencia de proteínas

asociadas a grasa, puede hacer que se aumente esta temperatura, como fue observado en la soya en estudios similares. Sciarini *et al.*, (2008).

Fioramonti *et al.*, (2014) reportan que sobre 85°C ya no se observan transiciones debido al tratamiento térmico por ocurrir una desnaturalización completa de las proteínas. Estos resultados son semejantes a lo reportado por Noisuwan *et al.*, (2008), quienes encontraron una Tf de 79°C en mezclas de almidón de arroz. La calorimetría diferencial de barrido (DSC) detecta la desnaturalización como un pico endotérmico, lo que proporciona información sobre la fracción de proteína desnaturalizada que hay en la muestra. En la mayor parte de los casos, las proteínas procesadas tienen entalpías de reacción más bajas, porque partes de la proteína pueden haberse desnaturalizado ya durante su tratamiento Porras *et al.*, (2015).

1.2.7.3 Estabilidad térmica en harina de trigo. La estabilidad térmica de las proteínas en las harinas de trigo se centra en el cambio de su estructura terciaria y secundaria cambios conformacionales de plegamiento-desplegamiento de la proteína cuando se calienta, es decir, se registra en forma continua el incremento de temperatura debido al calor suministrado, esto es lo que se llama capacidad calorífica. La desnaturalización de las proteínas puede contribuir tanto a la textura como al sabor de muchos alimentos. Braverman *et al.*, (1980). Para permitir que se hagan más accesibles las enzimas proteolíticas de la proteína real afectado tanto por la temperatura como por la humedad, al romperse las proteínas y liberar enzimas, y el aumento de la digestibilidad que está íntimamente relacionado con la disminución en la fracción de proteína insoluble propias de la harina de trigo el gluten corresponde al 80% de las proteínas del trigo y está conformado por dos proteínas insolubles: gliadina y glutenina. Gajardo., (2005). Entre las propiedades funcionales de las proteínas de trigo, se encuentran la dispersabilidad en agua, retención de agua e interacciones intermoleculares (gluten-agua) para crear la viscosidad requerida, actividad superficial y movilidad a través de la interface aceite-agua, para la emulsificación de grasas. Delgado., (2014). Sin embargo con la eliminación de factores antinutricionales y

termolábiles algunos factores térmicos pueden alterar la solubilidad del nitrógeno de la proteína en harinas. Khattab *et al.*, (2009).

Por otra parte la estabilidad térmica en harinas depende del proceso de gelatinización ya que allí se da la pérdida del orden molecular (colapso molecular) que se manifiesta dentro del gránulo del almidón. Esta transformación va acompañada de cambios irreversibles en sus propiedades como: absorción de agua, hinchazón del grano, fusión de la parte cristalina, pérdida de la birrefringencia, aumento en la viscosidad y la solubilidad del gránulo, son solo algunos de los cambios estructurales inducidos por tratamientos térmicos en el almidón. García (2010). La fase inicial del proceso gelatinización y el rango durante el cual se lleva a cabo es gobernada principalmente por la concentración del almidón en solución, el método de observación, origen y forma del gránulo, y la homogeneidad dentro del grano, Quintero (2012) además se analizan los cambios estructurales y químicos que influirán en la calidad de los productos que se derivan de esta materia prima.

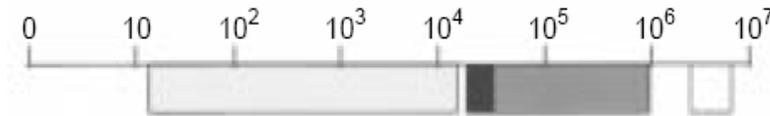
La harina de trigo presenta una tendencia a la sinéresis, la retrogradación e inestabilidad cuando se someten a cocción, el estrés de cizallamiento y la refrigeración, pueden conducir a un aumento de dureza y geles indeseables. Algunos estudios se han realizado sobre el efecto de los hidrocoloides derivados de celulosa de diferentes tamaños moleculares, se comprobó un aumento de la viscosidad máxima y un descenso de la temperatura pico. Macías (2013). Las propiedades de las harinas extruidas dependerán de las condiciones del tratamiento de extrusión. García, (2010).

Dado que la extrusión provoca cambios en el almidón, más bruscos que los métodos de cocción tradicionales, dañando una mayor cantidad de gránulos de almidón y modificando el poder espesante en frío de los almidones tratados. Este tratamiento puede llegar a fragmentar moléculas de amilopectina demostraron que los almidones de trigo extruidos presentan cadenas de amilosa y amilopectina de menor peso molecular. Macías (2013).

1.2.8 Métodos para mejorar las propiedades en los alimentos. Los alimentos se pueden procesar utilizando alta presión hidrostática, ultrasonido, pulsos eléctricos de alta intensidad de campo, irradiación, pulsos lumínicos, campos magnéticos oscilantes o aditivos químicos y bioquímicos, entre otros mínimos. Barbosa *et al.*, (1998).

1.2.8.1 Ultrasonido. El ultrasonido (US) son ondas acústicas inaudibles que cubren un rango de frecuencias que va desde 20 KHz hasta 100 MHz (Figura 3), siendo una tecnología no térmica Mason, (1997); Hoover (2000).

Figura 3. Los rangos de frecuencia del ultrasonido.



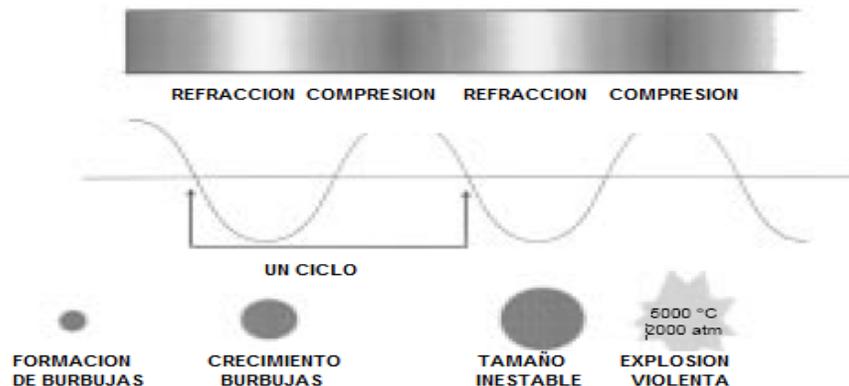
Fuente: Mason, (1997).

El oído humano		16Hz-18kHz
El ultrasonido de poder convencional		20kHz-40kHz
El uso ultrasonido en la química		20kHz-2MHz
El ultrasonido de diagnóstico		5MHz-10MHz.

Se dividen en dos categorías: Baja intensidad (2 a 10 MHz), utilizadas para obtener información sobre un medio en el que se propaga sin que se produzcan alteraciones en éste (exploración médica, análisis químico y fenómenos de relación entre otros). McClements (1995); Kuldiloke (2002). Por el contrario, la segunda categoría implicada la alta intensidad, o de poder (20 a 100 MHz) produce efectos permanentes en el medio expuesto al US (Limpieza, soldadura de plásticos, reacciones químicas, etc.). Povey *et al.*, (1988); Gallego *et al.*, (2000).

- Efectos.** En los líquidos causa un mecanismo llamado Cavitación donde se produce la formación, crecimiento y destrucción violento de pequeñas burbujas o vacíos en líquidos como consecuencia de la fluctuación de la presión. Mason (1997), generan así temperaturas altas y presiones en puntos definidos dentro del líquido. Suslick (1989). (Figura 4), la cavitación en un líquido puede causar desgasificación, incremento en la emulsificación, extracción de enzimas y lisis en microorganismos. Doktyez *et al.*, (1990); Hielscher (2005); Gómez *et al.*, (2009). Combinadas las altas presiones, temperaturas y turbulencia afectan el sistema de tratamiento y pueden generar altas reacciones en radicales libres de las moléculas de agua conduciendo a reacciones con otras moléculas. El material expuesto a US de alta intensidad, es sujeto a una serie de contracciones y extensiones alternadas rápidamente, facilitando el movimiento de agua por la creación de nuevos canales; los materiales densos se fracturan bajo esta acción. Kharisov *et al.*, (1999). (Figura 4).

Figura 4. Mecanismo y acción de la cavitación.



Fuente: Mason, (1997).

- Principios y definiciones.** Los equipos de ultrasonidos utilizados, de funcionamiento discontinuo (los más habituales) o continuo, presentan una cámara de tratamiento donde se sitúa la fuente de ultrasonidos (generalmente una sonda de

sonicación). Un generador de ultrasonidos piezo eléctrico se basa en la generación de oscilaciones eléctricas, de una frecuencia determinada, que un material con propiedades piezoeléctricas transforma en oscilaciones mecánicas (transductor). Otro método para producir vibraciones ultrasónicas es mediante el uso de transductores magneto estrictivos. Herrero *et al.*, (2006).

Las ondas de ultrasonido pueden ser caracterizadas en función de su amplitud (A) y frecuencia (f), las cuales son definidas por el investigador y controladas por el generador de onda con el que se trabaja. Por otro lado, tanto la velocidad ultrasónica (c), como el coeficiente de atenuación (α) y la impedancia acústica (Z) son parámetros que varían dependiendo de las propiedades físicas del material expuesto a la onda y por lo tanto su medición reviste importancia para la determinación de cambios en la estructura, composición o estado físico de los materiales.

$$\frac{1}{c^2} = \frac{\rho}{E}$$

Por otro lado, el coeficiente de atenuación (α), que es una medida de la disminución en la amplitud de una onda ultrasónica que se desplaza a lo largo de un material está definida por la siguiente ecuación:

$$A = A_0 e^{-\alpha x}$$

La impedancia acústica (Z) es otra propiedad física fundamental que depende de la composición y microestructura del material por cuanto es directamente proporcional al producto de la densidad por la velocidad ultrasónica (ρc), luego su medición puede brindar también importante información acerca de las propiedades físicas de un material. Kharisov *et al.*, (1999).

$$Z = \rho c$$

Para generar onda ultrasónica, se utiliza un transductor piezoeléctrico que convierte las señales eléctricas en señales sonoras, y viceversa. El transductor consiste en un

cristal (de cuarzo) piezoeléctrico insertado en un alojamiento a prueba de agua, que facilita su conexión eléctrica a un generador o transmisor-receptor de pulsos (modo pulso/ eco); en el modo de transmisión, se aplica al cristal un pulso de energía eléctrica de corta duración y alto voltaje, provocando que cambie rápidamente su configuración geométrica, deformándose, y emita un pulso de energía acústica (onda) de alta frecuencia. Suslick (1989).

- Uso del ultrasonido en la industria de alimentos. La tecnología del US posee un amplio campo de aplicaciones en la industria alimenticia, convirtiéndose en un procedimiento de preservación suave que podrá sustituir los métodos severos a base de calor; esta tecnología combinada o no, debe mantener las características del alimento lo más cercano posible a las del producto fresco, además de prolongar su vida útil en términos microbiológicos, sensoriales y nutricionales. Cano *et al.*, (2005).
- **Ultrasonido en el proceso de extracción de componentes intracelulares.** Las técnicas clásicas para la extracción del material crudo de verduras están basadas en la correcta elección del solvente acoplado con el empleo de calor y/o agitación, notándose esta técnica perfeccionada por la utilización del US; produciendo efectos mecánicos por una mayor penetración del solvente en la materia celular mejorando la transferencia de masas, Sulman *et al.*,(2001); Kuldiloke (2002). El US puede extraer los componentes intracelulares como son: enzimas, endotoxinas, polisacáridos, proteínas y partículas subcelulares, causado por el efecto de cavitación y cambios de presión. Stumpf *et al.*, (1945).

Así mismo, se han extraído polifenoles de los residuos de la uva roja (*Vitis61inífera*) con ayuda de US (35KHz durante 15, 30, 45, 60, 75 y 90 min) utilizando como solvente de arrastre etanol y agua; se observó un efecto significativo a los 45 y 90 min, con una total extracción del compuesto de interés. Usaquén *et al.*, (2006).

- **Ultrasonido en el proceso de inactivación de Microorganismos.** El efecto bactericida del US se atribuye generalmente a la cavitación intracelular, producidas por las altas presiones, fuerza interna y altas temperaturas generadas en el material, hasta el punto de provocar la lisis celular. Lee, (2002).

Raso *et al.*, (1998) reportaron que al combinar US con altas presiones (20KHz, 500KPa, 117 μ m, 12min) y temperaturas entre 70 – 90°C, se logró una reducción muy significativa (99%) en la inactivación de esporas de *Bacillus subtilis*.

Sala *et al.*, (1998) reportaron que la aplicación de US (20 KHz con una amplitud de onda 117 μ m por 7s a 63°C combinado con altas presión 200 KPa), causa una inactivación mayor al 99% de *Yersinia enterocolitica*, dependiendo este efecto de la temperatura utilizada.

Valero *et al.*, (2004) Indicaron que después de tratar jugo de naranja con US (500KHz/240W a 51°C por 15 min), observaron una reducción en la inactivación microbiana menor a 1.08 Log UFC/ ml⁻¹; mostrando crecimiento microbiano a los 14 días de almacenamiento a 5°C.

La combinación de US y alta presión (20 KHz; a 117 μ m longitud de onda y 175 KPa) a un baja actividad acuosa (0,96), causa una reducción de 1.5 Log UFC/ ml⁻¹ en la inactivación de *Salmonella enteritidis*, siendo un tratamiento de utilidad para mejorar la higienización y procesos de preservación de comidas, sobre todo aquéllos que son sensible a la temperatura. Álvarez *et al.*, (2003).

Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Lee, (2002) quien reporto que el US a 20 KHz. durante 150 segundos reduce en 0,5 unidades logarítmicas a *Escherichiacoli* inoculada en clara de huevo y a los reportados por Gélvez *et al.*,(2006) quienes estudiaron el efecto del ultrasonido (40KHz durante 30 minutos) en la carne de pollo empacada al vacío y almacenada durante 4 días a temperatura

ambiente (20°C), observando una disminución en la carga microbiana en las muestras tratadas y una ausencia de *salmonella spp*, debido al efecto bactericida del ultrasonido. Jayasooriya *et al.*, (2007).

Gélvez *et al.*, (2010) observaron que al tratar carne de lomo de atún (*Thunnusalbacares*) con US (37KHz a 16 °C durante 5 minutos) causa inactivación del 70 % de aerobios mesófilos, dependiendo éste efecto del tiempo de exposición.

Al aplicar US (37KHz durante 15 minutos a 45 °C) en el huevo entero líquido, se observó una reducción significativa del 77,33% de *E.coli* y 68,5 de *Salmonella enteritidis*, evidenciando que a mayor temperatura y tiempo de exposición a la onda sonora mayor es la reducción de la población celular. Gélvez *et al.*, (2010).

- **Ultrasonido en el proceso de inactivación de enzimas.** Los efectos del ultrasonidos en las enzimas son muy complejos; pueden llegar a generar activación o inactivación, McClements., (1995), la cual depende del tipo de enzima, del equipo, condiciones de proceso, de la naturaleza del medio de sonicación y de la concentración en la muestra tratada , Sala *et al.*,(1995). La cinética de inactivación podría atribuirse al aumento en la temperatura que disminuye la viscosidad del líquido, favoreciendo la penetración de las ondas sonoras, Earnshaw *et al.*, (1995) y a la disminución de la violencia de implosión de las burbujas formadas. Floros *et al.* (1994; Sala *et al.*, (1995); Earnshaw *et al.*, (1995). La cavitación no siempre es necesaria para producir la inactivación de las enzimas, ya que el rompimiento ocasionado por la turbulencia podría ser el responsable de la degradación de la misma. Price (1990).

Vercet *et al.* (,2002), sugieren que la efectividad del proceso se debe a la cavitación originada por tratamiento con el US, llegando a inactivar las enzimas (lipasas y proteasas) presentes en la bacteria *Pseudomonasfluorescens*.

Lee *et al.*, (2002) explicaron que con la aplicación de Manotermosonicación (MTS); (400 KPa a 70°C por 30s) observaron una inactivación eficaz de la enzima Pectin metil estearasa en jugo de naranja, sin alterar la calidad del producto.

Raviyan *et al.*, (2005) estudiaron el aumento en la efectividad de la inactivación enzimática de Pectin metil estearasa en el tomate utilizando US (20KHz, amplitud de 20 um, a 72°C durante 25,3 min), concluyendo que el aumento de la temperatura favorece la inactivación de ésta.

Suslick *et al.*, (1999) ;Villamiel *et al.*, (2000) sugirieron que la acción sinérgica presente en Manotermosonicación(MTS), se debe al aumento en la susceptibilidad de los centros activos de las enzimas, llegando a inactivar a las enzimas nativas de la leche (fosfatasa alcalina AP, α -lutamiltranspeptidasa y lactoperoxidasa) a 75,5°C/102,3s.

Sin embargo, Paci (1953); Huhtanen (1966) en su estudio de inactivación de las enzimas nativas de la leche no detectaron ningún efecto sobre la actividad; mientras que Vercet *et al.*, (1997) y (2002) en un estudio que realizaron con la aplicación Manotermosonicación (MTS) a 80°C observaron una inactivación eficaz en la mayoría de las enzimas, incluso las resistentes al calor y sugieren que la efectividad del proceso se debe a la cavitación originada por tratamiento con el US. Además, detectaron una menor degradación del ácido ascórbico en el jugo de naranja (20°C) y una inactivación endógena de las enzimas en el jugo fresco de limón, mostrando una reducción de precipitados (a 4°C durante 180 días).

Estudios realizados por Gélvez *et al.*, (2010) mostraron que al aplicar US (40 KHz a 40 °C durante 10 minutos) en hongos comestible *Pleurotusostreatus*, se observa una disminución en la actividad enzimática de la polifenol oxidasa (PFO) manteniendo éste incremento durante los 15 días de almacenamiento bajo refrigeración.

- **Ultrasonido sobre las proteínas**

Villamiel *et al.*, (2000); Hueter *et al.*, (1953) observaron que la caseína no fue afectada por el tratamiento US (20 KHz., amplitud de onda de 102µm, a 60, 70 y 75,5°C durante 40 –102,3s) debido a su estructura. Wrigley *et al.* (1992) indicaron que después de tratar leche descremada con US (50°C) la concentración de proteínas solubles no eran significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes respecto a las no tratadas.

Dentro de los efectos del ultrasonido provocados en los alimentos, Buckow *et al.*, (2001) encontraron que mejora la capacidad de espumado debido a que el ultrasonido mejora la homogenización produciendo una dispersión de las proteínas y moléculas de grasa. Jambra *et al.*, (2009), modifica la estructura de las salchichas crudas, debido a la desnaturalización de proteína de la superficie, lo que genera una capa comestible; además, mejora los procesos de filtración y extracción de sólidos solubles.

Jambrak *et al.*, (2009) evaluaron el efecto del tratamiento con ultrasonido (20 y 40 KHz durante 15 y 30 minutos) sobre la solubilidad de las proteínas de soya aisladas, presentando un incremento en la solubilidad (64,3 – 74 % y 78 % respectivamente), debido probablemente al fenómeno de cavitación que ocasiona un aumento en la temperatura local y en la presión del área circundante por el derrumbamiento de las burbujas que despliega la proteína disminuyendo las uniones de los péptidos por la hidrólisis. El ultrasonido aumenta la solubilidad de la proteína por el cambio en la estructura, ya que el hidrófilo orienta los residuos del aminoácido hacia el agua Morel *et al.*, (2000); Moulton *et al.*, (1982) y disminuye el peso molecular de estas, puesto que gran parte de su área está formada por moléculas de agua. Morel *et al.*, (2000).

- **Ultrasonido sobre Digestibilidad**

Han *et al.*, (2007) reportaron que al aplicar ultrasonido (47 KHz durante 1,5 a 3 horas) a lentejas, garbanzos, guisantes y habas durante el remojo, para luego ser

cocidas a 98 °C por 30 minutos, causa un incremento en el porcentaje de digestibilidad *in vitro* solo en las muestras de lentejas, ya que en las demás leguminosas los cambios no fueron significativos.

La aplicación de ultrasonido puede mejorar la digestibilidad de las proteínas de las legumbres, debido probablemente al daño que causa a la estructura celular por consiguiente, la enzima digestiva puede acceder a las proteínas más fácilmente. Burits *et al.*, (2000). Estos resultados coinciden con los publicados por Postema *et al.*, (2004) quienes observaron que al trabajar con US se mejora la digestión proteica, ya que al calcular la presión en el punto máximo de la reacción generada durante la cavitación (60 MPa), favorece la penetración de los poros de la molécula, permitiendo que los chorros de líquidos salientes, actúen como microcorrientes, que llevarían la enzima a la región de interés. McClements (1995).

CAPITULO II

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del tratamiento con termosonicación en la digestibilidad y la estabilidad térmica de las proteínas de la harina de arroz (*Paddy*) y la harina de trigo (*Triticum durum*).

En este contexto general, se fijaron los siguientes objetivos específicos:

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Establecer el contenido de proteína de las muestras de harina de arroz y harina de trigo.
- ✓ Determinar la digestibilidad *in vitro* de las muestras de harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación.
- ✓ Evaluar la estabilidad térmica de las proteínas y almidones de la harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación.
- ✓ Comparación de los porcentajes de digestibilidad *in vitro* y digestibilidad ponderada en harinas de arroz y harina de trigo tratadas con Ultrasonido.

2.3 PLAN DE TRABAJO

A continuación se describen en forma detallada las actividades a desarrollar para alcanzar los objetivos anteriormente mencionados:

2.3.1 Establecer el contenido de proteína de las muestras de harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación. A las muestras de harina de trigo y arroz fueron aplicados los siguientes análisis y tratamientos.

Se realizó la preparación de las 14 muestras entre harina de trigo y harina de arroz de las cuales a 12 muestras se les aplicó el tratamiento con ultrasonido y se realizaron pruebas de proteína Kjeldahl a las 14 muestras.

Las 14 muestras fueron liofilizadas para aplicar el análisis de calorimetría de barrido diferencial. Estos análisis se realizaron por triplicado.

2.3.2 Determinar la digestibilidad in vitro de las muestras de harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación. A las muestras de harina de trigo y arroz fueron aplicados los siguientes análisis y tratamientos.

Se realizó la preparación de la 14 muestras a 12 de ellas, se les aplico el tratamiento con ultrasonido, aunque se liofilizaron las 14 muestras estudio, posteriormente se realiza la preparación de las soluciones enzimáticas según los test de digestibilidad de proteínas. Estos análisis se ejecutaron por triplicado

2.3.3 Evaluar la estabilidad térmica de las proteínas de la harina de arroz y harina de trigo. Tratadas con termosonicación mediante análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC).A las muestras de harina de trigo y arroz fueron aplicados los siguientes análisis y tratamientos.

Se realizó la preparación de la 14 muestras a 12 de ellas, se les aplico el tratamiento con ultrasonido, aunque se liofilizaron las 14 muestras estudio, posteriormente se efectuó los análisis de calorimetría de barrido a las 14 muestras estos análisis se realizaron por triplicado.

2.3.4 Comparación de los porcentajes de digestibilidad *in vitro* y digestibilidad ponderada en harinas de arroz y harina de trigo tratadas con Ultrasonido. Obtenidas los resultados de las pruebas para determinar la digestibilidad *in vitro* en muestras específicas de harina de trigo y harina de arroz, en el área de la Nutrición y Dietética esta información es fundamental para el cálculo numérico y teóricos que se hace en el análisis de digestibilidad proteica de una dieta según el grupo poblacional estudiado. Para ello usamos los patrones ya establecidos en tabla de recomendaciones del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar que se basan en los establecidos por la FAO, (1991).

Dados estos resultados tan específicos para las dos clases de harinas de trigo y arroz respectivamente se buscó hacer un comparativo aprovechando esta información real, para determinar si existe diferencia con los datos reportados por el ICBF.

Para esto se realizó el cálculo matemático de la cantidad en gramos de las muestra de harina de trigo y harina de arroz. Se identificaron los tratamientos donde se observó mayor porcentaje de digestibilidad *in vitro* en los datos obtenidos y posteriormente se hizo el comparativo entre los datos reportados por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) sobre digestibilidad proteica ponderada para población Colombiana.

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Pamplona (CYTAL), ubicada en Pamplona N. de S. y en el laboratorio Centro Internacional de Agricultura Tropical y laboratorio de calidad nutricional de alimentos (CIAT).

3.1 MATERIALES

3.1.1 Materia prima. Se utilizaron dos tipos de harinas de Arroz (*Paddy*) y Trigo (*Triticum durum*) (con gluten de forma natural en su composición).

Descripción harina de arroz: La harina de arroz (*paddy*) fue adquirida en las principales bodegas de la ciudad de Pamplona, se encontró una harina normal de alto consumo masivo, debido a su bajo costo; en presentación de 250 g en bolsa de polietileno y cuya característica principal es que es elaborada en Pamplona sin marca comercial.

Descripción de la harina de trigo: La harina de trigo (*Triticum durum*) fue adquirida en las principales bodegas de la ciudad de pamplona en una presentación de 500 g básica no leudante sin marca comercial. En bolsa de polietileno.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Preparación de las muestras.La reconstitución de cada harina (arroz y trigo), se realizó por separado mezclándolas con agua a temperatura de 25 °C por medio de una plancha con un agitador magnético (50 % en base al peso seco de la muestras) hasta obtener una mezcla homogénea evitando la formación de grumos Jambrak *et al.*,(2008), posteriormente se envasaron 50 ml de las muestras en bolsas de polietileno de baja

densidad. Para éste envasado se empleó una empacadora al vacío HENCOVAC 1500, realizado a un vacío del 90%, previamente rotuladas. Gélvez *et al.*, (2010).

3.2.2 Tratamiento con ultrasonido.

3.2.2.1 Tratamiento con ultrasonido. Se empleó un equipo Branson 1510 (40 KHz) y como medio de transmisión agua desionizada, el tratamiento de US se llevó a cabo a temperatura de 40, 50 y 60 °C, durante 15 y 30 minutos, dando lugar a seis tratamientos diferentes de ultrasonido. Lionetto (2006) ya la muestra control es una mezcla homogénea de cada harina de arroz y trigo con agua (50 % en base al peso seco de la muestras).

Tabla 4. Tratamientos con US a diferentes tiempos y temperaturas.

Tratamiento con US (40 KHz)		
Número	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)
1	40	15
2	40	30
3	50	15
4	50	30
5	60	15
6	60	30
7	Muestra control	

Fuente: Autora del proyecto

3.2.3 Aplicación de análisis de proteínas.

3.2.3.1 Contenido de proteína Kjeldahl. Se determinó el contenido de proteína según el método Kjeldahl en un equipo Kjelttec System 1002, con Sulfato de Sodio, Sulfato de Cobre Pentahidratado y Ácido Sulfúrico en relación 7,5:1:0,1 por AOAC (1996). Se midió 1 ml de la muestra de arroz y trigo y se adicionó los reactivos en tubos micro Kjeldahl. Se

mineralizó en 4 por 15 minutos y en 8 por 90 minutos bajo campana, hasta desaparición de humos blancos y formación de color verde brillante sin residuos negros. Una vez digerida, se dejó a temperatura ambiente hasta la formación de una pastilla sólida, la que se disolvió con 10 ml de agua destilada, posteriormente se destiló y neutralizó con Na (OH) al 40 %. El destilado se tituló con Ácido Sulfúrico 0,1 N empleando un potenciómetro de titulación automático (Metrohm 702 SM Titrino Polco). Los resultados se expresaron como g % de proteínas = g % Nitrógeno x 5,83 (factor de corrección para cereales). Las lecturas fueron tomadas por triplicado.

3.2.4 Digestibilidad proteica de harina de trigo y harina de arroz.

3.2.4.1 Preparación de las muestras para digestibilidad *in vitro*. Para la determinación de la digestibilidad *in vitro* se empleó un Pederssen eggum pH stat procedure. Las muestras fueron liofilizadas en un Model 100 SRC-8 en bancos unitarios. Estas fueron puestas en bandejas de 30* 61 cms de (2 a 3L por bandeja hasta 24 bandejas) y congeladas a 50 °C de Temperatura. Con un vacuum de 5-10 μ m y una temperatura final de 25 °C, luego secadas por 12 horas .Esto pasos fueron llevados a cabo en tres tiempos diferentes de aireado por 12 horas y los productos congelados y crudos fueron finalmente tamizados en una malla de 20 cm de grosor.

Los test de las muestras fueron preparados según (laboratorio de nutrición energía y proteína de USDA y colaboradores) y transportado con un estándar de caseinato de sodio (sigma 8654).La tercera porción de enzima en polvo tripsina pancreática (tipo IX,sigma T-0134 actividad 17.000 u/ mg de proteína quimiotripsina bovina pancreática (Typo II, sigma C 4129 actividad 56 u/ mg de poder y peptidasa (grade K, Sigma P-7500 actividad 100 u/ g de poder).Los contenidos de nitrógeno fueron determinados en el laboratorio de la Universidad de Pamplona por macro-kjeldahl.

3.2.4.2 Preparación de soluciones enzimáticas para digestibilidad *in vitro*. La solución contiene tres enzimas que fueron preparadas de la siguiente forma. Una cantidad

suficiente de polvo de cada enzima fue disuelta en agua hasta obtener 90 mililitros, 23.100 unidades de tripsina, 186 unidades de quimiotripsina, y 0.052 unidades de peptidasa. El pH fue ajustado hasta 8.0 manteniendo una temperatura de 37 ° C exactamente por dos minutos, entonces la solución fue transferida y almacenada en una nevera a 0 °C; la tercera solución enzimática fue preparada diariamente y su actividad fue chequeada usando una suspensión acuosa no alcalina de caseinato de sodio (1 mg N/mL de agua). 10 ml de la suspensión de caseinato de sodio fueron introducidos con reactivo en un vaso a 37° C. el pH fue ajustado hasta 8.0 manteniéndose de 5-10 minutos agregando antes 1 ml de solución enzimática La actividad enzimática fue determinada por la cantidad de 0.1 N NaOH requerido para mantener el pH a 7.98 exactamente por 10 minutos y los porcentajes de digestibilidad fueron calculados teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$TD= 76.14+47.77 B$$

Donde B = ml 0.1 N NaOH agregado. Cantidad alcalina agregada durante 10 minutos puede ser $0.50 \text{ mL} \pm 10\%$ Para evaluar La no alcalinidad del caseinato de sodio se pudo calcular 98-102% TD y La actividad de cada enzima puede ser chequeada en un mismo día preparada y usada.

3.2.5 Digestibilidad de los test de proteína.La digestibilidad de las muestras de proteína se hace por triplicado y el caseinato de sodio como control fueron determinados de la siguiente forma:

Una cantidad de muestra con contenido de 10 mg de nitrógeno fue disuelta en 2.5 ml de agua; entonces 2.5 ml de 0.2 N NaOH fueron añadidos a la solución que fue almacenada a 37°C después de 30 minutos, 5.0 mL 0.075 N con HCL fue añadido a la solución y el PH fue ajustado hasta 8.0 añadiendo 1 mL de la tercera solución enzimática; la cantidad de 0.1 N NaOH requerido para mantener el pH hasta 7.98 exactamente por 5 minutos.

El factor de corrección de digestibilidad proteica s evaluó (UTD) fue calculado:

$$\text{UTD} = 79.28 + 40.74 B$$

Donde B= mL 0.1 N NaOH usado durante 5 minutos. para organizar los diferentes datos dentro del laboratorio, el UTD evaluado por cada test de proteína fue multiplicado y corregido por el factor calculado de los datos obteniendo el caseinato de sodio:

Factor de corrección de laboratorio= 100 UTD de caseinato de sodio.

3.2.5.1 Determinación de las propiedades térmicas de proteína en muestras de harina de trigo y harina de arroz. Este análisis se realizó en un equipo TA Instruments DSC Q200, basados en la metodología de Coello y Garcés, (2012) que se describe a continuación:

- **Calibración del Equipo.** Para obtener resultados precisos experimentales se calibró el equipo periódicamente. El equipo que se usó para la experimentación fue DSC Q200 marca TA Instruments y fue acondicionado y calibrado antes de la experimentación. Según el modelo del equipo los parámetros que se calibraron fueron Tzero, constante de celda y temperatura.

La calibración de Tzero requiere dos experimentos. El primer experimento se lleva a cabo con la celda vacía. Para el segundo experimento se usan dos discos de zafiro (aproximadamente de 95 mg) que son colocados directamente en las posiciones de muestra y referencia de los calentadores. Ambos experimentos usan la misma programación de barrido que consiste en un equilibrio a una temperatura inicial, una isoterma durante 5 minutos, calentando a una velocidad constante a temperatura final y manteniendo una isoterma por 5 minutos. El rango de temperaturas debe ser al menos tan amplio como el rango deseado durante la experimentación. La calibración de Tzero debe realizarse a velocidades de calentamiento relativamente altas, tales como 20°C/min a fin de obtener la calibración más precisa de la capacitancia del sensor térmico y de los valores de resistencia, velocidades menores

a 10°C/min no se recomiendan para la calibración de Tzero.

La calibración de constante de celda se basa en un calentamiento de un metal estándar, el indio en este caso, donde se calcula el punto de fusión y se compara con el valor teórico de fusión (157°C). Esta calibración se basa en un funcionamiento en el que se calienta el indio como metal estándar hasta lograr ver su punto de fusión. El calor de fusión calculado se compara con el valor teórico y la constante de la celda es la relación entre estos dos valores. Teóricamente, una muestra estándar debe fundir a una temperatura constante, como se funde y se extrae más calor se desarrolla una diferencia de temperatura entre la muestra y la referencia, donde el área bajo la curva del pico endotérmico formado en el termograma refleja el valor del diferencial de entalpía.

La calibración de temperatura se basó en una corrida en la que se calienta un metal tipo estándar, para este caso el indio, hasta que se logre ver su temperatura de fusión. Se compara la temperatura de fusión calculada con la temperatura de fusión teórica del mismo metal, y la diferencia que se calcula sirve para la calibración de la temperatura. El mismo archivo que se utiliza en la calibración de la constante de celdas se puede utilizar para ésta calibración. La temperatura se corrige automáticamente.

- **Preparación de la muestra.** Se mezclaron 50 mg en base seca de la muestra de harina de arroz y trigo con 50 mL de agua desionizada como medio plastificante en una relación 1:1 (harina de arroz: agua desionizada). Las muestras se colocaron dentro de cápsulas herméticas Tzero y se sellaron con las tapas herméticas Tzero mediante una prensa de muestra Tzero, se utilizaron cápsulas y tapas herméticas en alimentos porque la muestra no debe ganar ni perder humedad antes de realizar la experimentación y durante la experimentación, ya que esto afectaría el proceso de gelatinización. Se utilizó una cápsula vacía sellada herméticamente como referencia. Se deja reposar las muestras durante una hora para que el almidón se

pueda hidratar y la prueba se realizó por triplicado en cada muestra de harina de trigo y harina de arroz de arroz.

Para determinar el peso total de las muestras que se colocaron dentro de la cápsula, se procedió a calcular el porcentaje de humedad de cada muestra de arroz en una termobalanza, con respecto a éste porcentaje se determinó los mg de agua en 1 mg de base seca para obtener cuantos mg de agua existen en 3 mg de base seca, que es la cantidad de harina de arroz que se necesitó para la experimentación; con este valor se pudo conocer la masa de harina exacta que se necesita colocar dentro de la cápsula.

A partir de los resultados obtenidos en la termobalanza, se obtuvo el peso total de la muestra de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} 0,1519 \text{ mg Agua} &= 1 \text{ mg SS} \\ X &= 3 \text{ mg SS (lo que se requiere)} \\ X &= 0,46 \text{ mg Agua} \end{aligned}$$

$$\text{Peso total de muestra} = 3 \text{ mg SS} + 0,46 \text{ mg Agua} \quad \text{Peso total de muestra} = 3,46 \text{ mg}$$

El cálculo para obtener el volumen de agua desionizada se basa en una relación 1:3 (Harina de arroz: Agua desionizada), por ende el valor del agua desionizada es el triple que el de la muestra de harina.

3.2.5.2 Determinación de las propiedades térmicas en almidón para muestras de harina de trigo y harina de arroz. Para la determinación de las propiedades térmicas (ΔH , T_o , T_p , T_c , I_g) se analizaron las muestras de harina de trigo y arroz con respecto a una referencia. Dentro del software del DSC Q200 se colocaron los parámetros adecuados para la experimentación que consistió en equilibrar la muestra a 20°C, seguido de un calentamiento progresivo hasta alcanzar una temperatura de 130°C, con el fin de observar mejor los eventos térmicos que ocurrieron. Con estos segmentos se pudo obtener al final

del barrido un termograma donde se logró observar las propiedades térmicas durante el proceso de gelatinización.

- **Comparación de los porcentajes de digestibilidad *in vitro* y digestibilidad ponderada en harinas de arroz y harina de trigo tratadas con ultrasonido.**

- ✓ **Cálculos de Digestibilidad *in vitro*.** Obtenidos los resultados de digestibilidad *in vitro* en los diferentes tratamientos se identifican los tratamientos con los mayores porcentajes de digestibilidad *in vitro* y se comparan con los porcentajes de la muestra control para obtener el primer patrón de comparación.

- ✓ **Cálculos de Digestibilidad Ponderada.** Para este cálculo proteico nutricional se empleó los datos referidos de digestibilidad ponderada reportados por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar para población Colombiana basada en la fuente de la FAO (1991), El método PDCAAS (Procedimiento del cómputo de aminoácidos corregido en función de la digestibilidad de proteína, se basa en la puntuación de aminoácidos, en el cual se compara el perfil de aminoácidos del alimento proteico analizado, con el patrón de requisitos de aminoácidos establecido por la FAO/OMS para el grupo poblacional en este caso adultos, El aminoácido con valor límite es empleado para establecer la puntuación de aminoácidos no corregida, y al multiplicar la cifra por la digestibilidad del alimento, se obtiene el PDCAAS.(Procedimiento del cómputo de aminoácidos corregido en función de la digestibilidad de proteína).

- **Comparación de digestibilidad *in vitro* y ponderada.** Obtenidos los datos en porcentaje de la digestibilidad *in vitro* de harina de trigo y harina de arroz y la digestibilidad ponderada de harina de trigo y harina de arroz se comparan con los resultados reportados por la FAO (1991) para obtener una información que sea de aplicabilidad al campo de la dietoterapia. Mataix (2008) y de la ciencia de los alimentos.

3.2.6 Análisis estadístico. Los datos obtenidos de la aplicación de los diferentes análisis a los tratamientos establecidos en la metodología según los test de laboratorio y las réplicas fueron usados de acuerdo al método descrito por Mcdonough *et al.*, (1990) y se dichos resultados se analizaron estadísticamente mediante las mediciones del error estimativo que fueron calculados usando análisis estadístico ANOVA se utilizó la prueba post hoc de Diferencias Mínimas Significativas (DMS). Con un nivel de significancia de ($p < 0.05$). Los anteriores análisis fueron efectuados utilizando el paquete de software estadístico SPSS versión 19.0.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONTENIDO DE PROTEÍNA DE LAS MUESTRAS DE HARINA DE ARROZ Y TRIGO

Los resultados obtenidos para el análisis de proteína de las muestras de harina de trigo fue de $4.90 \pm 1.23\%$; muy cercano al reportado por Ramírez (2010) que obtuvo un resultado de 7,0% de proteínas especificando que la calidad de la proteína está dada por la composición de los aminoácidos esenciales en las fracciones analizadas, estos aminoácidos corresponden a la metionina y la lisina que son aminoácidos limitantes. Sin embargo, estos datos no coincide con los obtenidos por autores como Ojeda (2010); López (2007); Sierra *et al.*, (2006) cuyos porcentajes oscilaron entre 9-11%.

Resultados similares fueron obtenidos por Vásquez *et al.*, (2009) que caracterizaron química 10 harinas de líneas experimentales (LE) de trigo, las cantidades relativas en el porcentaje de proteína variaron de 8.42 a 13.55 % en éstas; la proteína es el compuesto que más afecta la funcionalidad y calidad de los productos de trigo; esto es debido a que importantes factores como la absorción de agua, el tiempo de amasado y la estabilidad dependen de la cantidad y calidad de la proteína. Kent (1983).

La composición de las proteicas poliméricas son las que determinan las características de fuerza y elasticidad en las masas de harinas de trigo Shewry *et al.*, (1992); Belton (1999). Es generalmente aceptado que las propiedades visco elásticas de las proteínas del gluten son responsables del potencial de panificación de las harinas de trigo Kieffer *et al.*, (1999).

La cantidad y composición de la proteína de trigo son responsables del potencial de panificación de una harina y de las diferentes calidades de los trigos. Islas *et al.*, (2005). Este potencial de panificación en las harinas puede diferir ampliamente con la variedad del

trigo, debido a diferencias en la estructura de las proteínas del gluten. Vázquez *et al.*, (2009).

Entre las harinas de los cereales solamente la de trigo tiene la capacidad de formar masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción. Esta propiedad se debe a su composición química y en especial a las proteínas y a su capacidad de formar gluten. León *et al.*, (2007).

Díaz *et al.*, (2006) cuantificaron las principales proteínas de reserva de trigo mediante cromatografía líquida con el fin de evaluar la calidad del trigo para pan (*Triticum aestivum L.*), observando que esta depende de la calidad y cantidad de las proteínas del gluten gluteninas y gliadinas las cuales constituyeron un 10 a 14% de las proteínas del grano.

Los resultados de los análisis de proteína de las muestras de harina de arroz presentaron un porcentaje de proteína de 8,0-8,3%; resultados muy similares a los reportados por Pincioli, (2010) quien muestra que el grano integral tiene un porcentaje de 7,0-9,0 de proteína. El componente proteico mayoritario del grano de arroz lo constituyen las glutelinas en proporción de 75-90% con respecto a la total. Son los únicos cereales ricos en glutelinas y pobres en prolaminas (Juliano, 1985; Liu *et al.*, 2011). La calidad nutricional de las proteínas de arroz es sólo inferior a la avena y supera a la del trigo y maíz, además de ser hipoalérgicas y poseer propiedades anticancerígenas; considerándola un alimento funcional. Liu *et al.*, (2007)

Resultados similares fueron obtenidos por Techeira (2006) quien encontró diferencias estadísticamente significativas entre muestras de harina obtenidas a partir de granos de arroz entero de origen comercial, siendo la harina de arroz parbolizado la que presentó la mayor cantidad de proteínas (10,29%); debido posiblemente, a que en el proceso de parbolización ocurrió la migración desde la cascara hacia el endospermo, de componentes solubles en agua, dentro de los cuales se encuentra la fracción proteica, la cual

probablemente permitió obtener harinas de granos de arroz pulidos con un mayor contenido de proteínas.

Morales *et al.*, (2014) compararon harinas de arroz de la variedad Indica y Japónica observando que tenía un mayor contenido de proteínas la variedad índica que la Japónica de un 11 y 15% respectivamente; el contenido de proteína de las estas variedades estudiadas es más alto que los determinados en EE.UU. (5,4% a 8,5%). Cameron *et al.*, (2008) y cultivos de arroz mexicanos (7,0% - 11,0%). Chávez *et al.*, (2011).

El contenido de proteína influye en la textura de la harina de arroz cocido debido a que el alto contenido de proteína produce aumento en la gomosidad reducida después de la cocción y viceversa. Chávez *et al.*, (2011); Primo, (1962); la cocción de esta produce gelatinización del almidón y este polímero interactuaba con la proteína para formar adsorción reversible, que influye en la adherencia de la harina de arroz. Chrastil (1993).

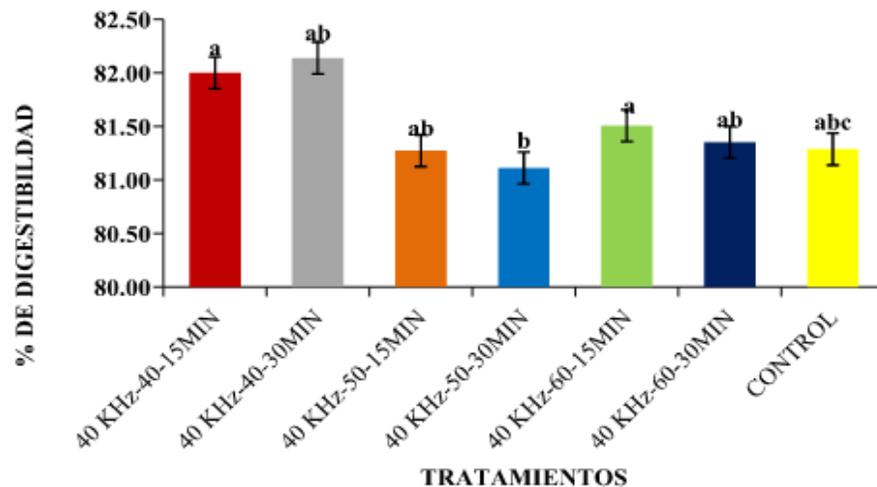
Al comparar los promedios en el porcentaje de proteína en las dos harinas (arroz y trigo), se puede establecer que las muestras de harina de arroz presentaron resultados superior; esto podría deberse a la constitución básica de la harina de arroz, que contiene alto nivel de fracciones proteicas representadas en glutelina, prolamina, globulina y albumina Liu *et al.*, (2005). Por el contrario, la harina de trigo es deficiente en lisina excepto en el germen de trigo que es una de las partes estructurales de la planta. Zhu *et al.*, (2000); sin embargo posee fracciones como las prolaminas y gluteninas cuya composición aminoacídica se da en metionina y treonina que otorgan adecuadas propiedades de emulsificación, estabilidad, capacidad de retención de agua. González *et al.*, (2004).

Cuando se combinan, proteínas complementarias proporcionan todos los aminoácidos esenciales necesarios para el cuerpo humano consiguiendo un patrón equilibrado de aminoácidos que se usan eficientemente, la combinación de proteínas complementarias es la mezcla de proteínas alimentarias de la soya y maíz o de la harina de trigo y la caseína; lo

que mejora la calidad proteica, por lo que el efecto de combinarlas es sinérgico (González *et al.*, (2007).

4.1.1 Digestibilidad *in vitro* de las muestras de harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación. En la figura 5, se presentan los resultados del efecto del Ultrasonido sobre la digestión *in vitro* de la proteína contenidas en la harina de arroz, donde se observa que la muestras tratadas con US a 40 KHz a una temperatura de 40°C durante 15 y 30 minutos obtuvieron un aumento significativo ($p < 0,05$) en los porcentajes de digestibilidad comparadas con las demás muestras; no se observó ninguna variación significativa ($p < 0,05$) en los demás tratamientos con respecto a la muestra control que reporto un 81, 28% de digestibilidad.

Figura 5. Porcentaje de digestibilidad *in vitro* en las muestra de harina de arroz sometidas a termosonicación



Fuente: Autora del proyecto

*Letras Iguales entre columnas no hay diferencias mínimas significativas (DMS- $p < 0,05$) entre tratamientos.

Estos resultados fueron superiores a los encontrados por Casuso *et al.*, (2013) quienes reportaron que para la harina de arroz un $54,12 \pm 14,90\%$ de proteína soluble. Esto concuerda con los resultados encontrados por Manelius *et al.*, (1996); Bednar *et al.*, (2001) quienes observaron que cereales con gránulos pequeños como el arroz tienen mayores tasas de digestibilidad que los almidones que poseen gránulos más grandes. La calidad nutricional de una proteína depende de su facilidad para hidrolizarse y que los aminoácidos liberados sean asimilados e ingresen al torrente sanguíneo. Pincirolí (2010).

Algunos factores como el calor, pueden incrementar la digestibilidad al modificar la estructura terciaria y secundaria o sea al desnaturalizar la proteína Cheftel *et al.*, (1993). En general, la solubilidad de las proteínas aumenta con la temperatura, entre 0 y 40-50°C; por el contrario los tratamientos térmicos mal aplicados (altas temperaturas durante tiempos prolongados) provocan la formación de enlaces indigestibles entre aminoácidos o entre aminoácidos y azúcares (reacción de Maillard), lo que reduce su digestibilidad.

El incremento que se presentó en las muestras de harina de arroz tratadas con US a 40KHz a una temperatura de 40°C durante 15 y 30 minutos fue de 82 y 82,14% de digestibilidad respectivamente, estos resultados coinciden con estudios realizados por Postema *et al.*, (2004) quienes al calcular la presión en el punto máximo de la reacción generada en la cavitación (60MPa), observaron que la presión penetra los poros de las moléculas permitiendo la salida de enzimas usadas para la digestión de las proteínas. Así mismo, Wibeto *et al.*, (1999) reportaron que la cavitación causa una corrosión mecánica de la superficie sólida provocando la ruptura favoreciendo la digestión de la proteína; fenómeno que confirmo, López *et al.*, (2005) al aplicar US observó que aumentaba la liberación de péptidos sin afectar la integridad de la proteína, facilitando su digestión.

Resultados similares obtuvieron, Gélvez *et al.*, (2010) quienes evaluaron el efecto del US (37 KHz a una temperatura de 20 y 45°C durante intervalos de 5 a 15 minutos) en el coeficiente de digestibilidad *in vitro* de la proteína de huevo entero líquido, observando que cuando la muestra es tratada a temperaturas elevadas por cortos tiempos el incremento es

directamente proporcional a la temperatura; mientras que a baja temperatura el incremento es proporcional al aumento del tiempo.

La razón principal del aumento de la digestibilidad de la proteína, es el efecto que causa el US por el fenómeno de cavitación produciendo el aumento de la temperatura local y la presión en los alrededores de la burbuja; que conduce al desdoblamiento de las proteínas y aumentando la liberación de péptido por la hidrólisis, Jambrak *et al.*, (2009). Altas intensidades de US (20-40 KHz) aumenta la solubilidad de las proteínas por cambios estructurales en su conformación, los residuos de aminoácido hidrófilos son orientados hacia el agua, Morilla *et al.*, (2000); Moulton *et al.*, (1982). Este tratamiento conduce a disminuirse en el peso molecular de las proteínas, mientras que el área más grande de estas es cubiertas por moléculas de agua. Morel *et al.*, (2000).

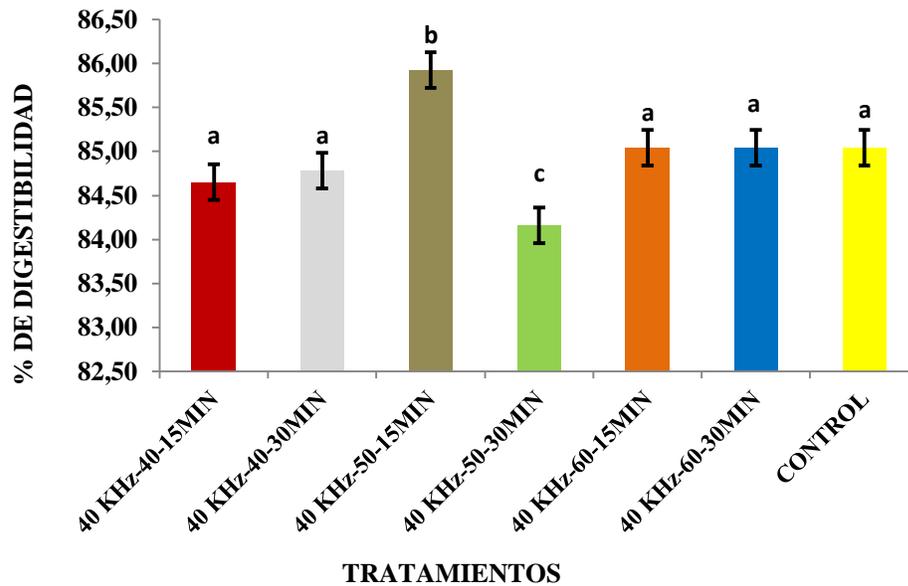
Perusko *et al.*, (2015) evaluaron el efecto del US en la glicolisis y oxidación de proteínas de suero, observando que la cavitación causa aceleración en la reacciones de Maillard formando estructuras de tipo amilosas y mejora la estabiliza de la estructura de las proteínas; lo que permite que el tiempo de procesamiento sea corto y condiciones menos agresivas, preservando la estructura de las proteínas y reduciendo al mínimo la agregación de éstas.

Los análisis estadísticos indican que se presentaron diferencias significativas al 95% entre todos los tratamientos y con la prueba de DMS se pueden asociar en tres grupos homogéneos.

En la figura 6, se presentan los resultados del efecto del US sobre la digestión *in vitro* de la proteína contenida en la harina de trigo, donde se evidencia incremento significativo ($p < 0,05$) de una unidad en las muestras sometidas a tratamiento de 40 KHz/50°C/15 minutos. No se observa ninguna variación significativa ($p < 0,05$) en los demás tratamientos con respecto a la muestra control. Se obtuvo un promedio de la digestibilidad *in vitro* de la proteína contenida en todas las muestras que oscila de 84,50 a 86,00%. Estos resultados son

mayores a los obtenidos por Casuso *et al.*,(2013) donde la harina de trigo mostró una alta tasa de digestión *in vitro* de $42,56 \pm 11,45\%$, se debe posiblemente al alto contenido de amilopectina (80%) presente en su forma nativa, en comparación con otras fuentes vegetales, Cruz-Suarez *et al.*,(1994); Cuzon *et al.*,(2000).

Figura 6. Porcentaje de digestibilidad en las muestra de harina de trigo sometidas a termosonicación.



Fuente: Autora del proyecto

*Letras Iguales entre columnas no hay diferencias mínimas significativas (DMS- $p < 0,05$) entre tratamientos.

Los análisis estadísticos indican que se presentaron diferencias significativas al 95% entre todos los tratamientos y con la prueba de DMS se pueden asociar en tres grupos homogéneos (Figura 6).

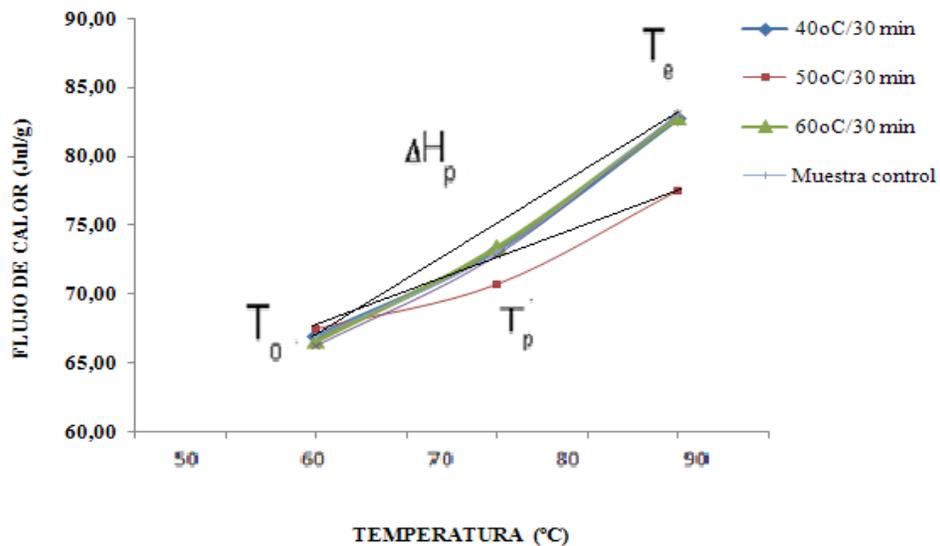
Como se puede observar las muestras tratadas con US a 40KHz a 50°C durante 15 minutos presenta un 86% de digestibilidad *in vitro* lo cual representa un aumento de 1,4 unidades con respecto a la muestra control. Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Postema *et al.*, (2004); Wibeto *et al.*, (1999); López *et al.*, (2005) que atribuyen este efecto

al fenómeno de cavitación causado por el US; que al aumentar la temperatura y la presión facilita la salida de enzimas péptidos que facilitan la digestión proteica. Jambrak *et al.*, (2009); Morilla *et al.*, (2000); Moulton *et al.*, (1982) afirma que el US favorece desdoblamiento de las proteínas y la hidrólisis de éstas.

Al comparar los promedios de los porcentaje de digestibilidad en las dos harinas (arroz y trigo), se puede observar que en las muestras de harina de trigo tratadas con US(40 KHz a una temperatura de 50 y 60°C durante 15 minutos) presentaron un mayor incremento en estos valores con respecto a los demás tratamiento (86,20 y 86,36 %) respectivamente, esto podría deberse a la constitución básica de la harina de trigo; ya que la molienda de los granos aumenta la superficie para el ataque enzimático y el tratamiento de sonicación incrementa la temperatura de las proteínas desnaturalizándolas mejorando la digestibilidad.

4.1.2 Estabilidad térmica de las proteínas de la harina de arroz y harina de trigo tratadas con termosonicación.

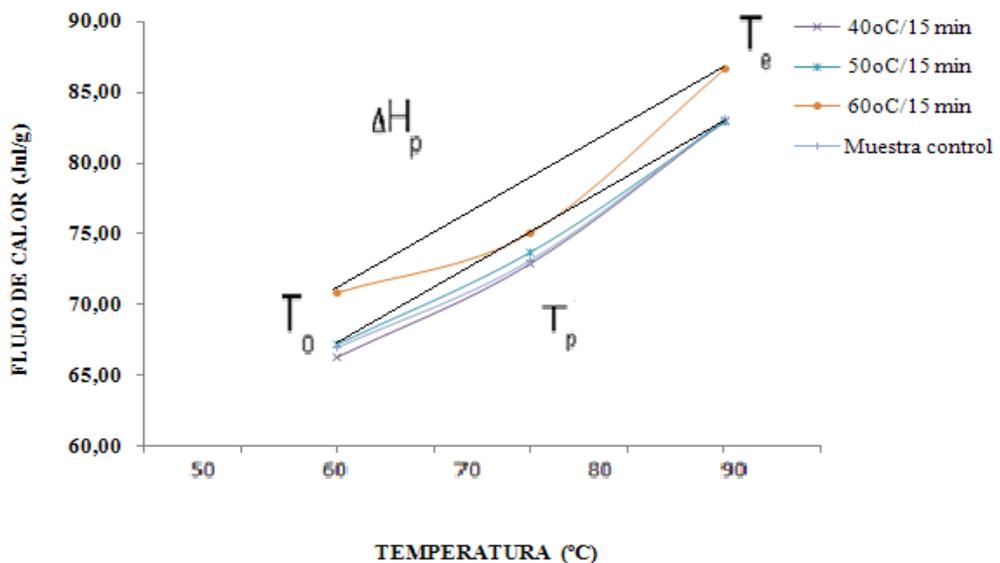
Figura 7. Termogramas DSC de harina de arroz sometidas a US durante 30 min.



Fuente: Autora del proyecto

En la figura 7 se presenta la transición térmica de las muestras de harina de arroz tratadas con US. Inicialmente se presenta un pico endotérmico sobre la línea base del termograma que comienza en un rango de 66 a 71°C (temperatura inicial- T_0) todos los tratamientos. El valor de la temperatura pico (T_p) estuvo entre 70,73 -75,07°C en la cual se registran los valores más altos de absorción de calor; a medida que el proceso finaliza, el sistema regresa a un estado en el cual no hay cambios en la fase ni en la composición de la muestra, tal como se refleja en el termograma cuando el pico endotérmico se retrae hasta llegar a la línea base alcanzando una temperatura final (T_e) en un rango de 77,52 –86,66°C. La entalpía de gelatinización (energía necesaria para completar el proceso, ΔH_p).

Figura 8. Termogramas DSC de harina de arroz sometido a US durante 15 min.



Fuente: Autora del proyecto

Para la harina de arroz tratada con US (40KHz /40°C/ 15 min) fue de 9,89 Jul/g que resultó mayor frente a los demás tratamientos (tabla 5); mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los tratamientos. A su vez, la línea base del termograma aumenta por lo cual el sistema no requiere de mayor flujo de calor o energía con el fin de garantizar el proceso de gelatinización.

Tabla 5. Entalpía de gelatinización (ΔH_p) para harinas de arroz y trigo sometidas a termosonicación.

Tratamientos	Entalpía de gelatinización ΔH (Jul/g)	
	Harinas de arroz	Harinas de trigo
40KHz/40°C/15 min	9,89±0,17 ^a	7,70±0,75 ^a
40KHz/40°C/30 min	8,61±0,74 ^b	7,76±0,68 ^a
40KHz/ 50°C/15 min	8,90±0,36 ^b	7,57±0,86 ^a
40KHz/ 50°C/30 min	6,47±0,22 ^c	8,47±0,68 ^a
40KHz/ 60°C/15 min	6,91±0,46 ^c	3,91±0,15 ^b
40KHz/ 60°C/30 min	9,25±0,24 ^b	3,15±0,85 ^b
Muestra control	8,21±0,97 ^b	8,74±0,45 ^a

Fuente: Autora del proyecto

*Letras Iguales entre columnas no hay diferencias mínimas significativas (DMS- $p < 0.05$) entre tratamientos.

Estos resultados coinciden con el trabajos de Tribess *et al.*, (2008) con harina de banano variedad Nanicao (*Musa cave-denshii*) muestran que la temperatura en pico (T_p) para este fruto varía desde $67.95^\circ\text{C} \pm 0.31$ hasta $68.63^\circ\text{C} \pm 0.28$ alcanza una T_p de 68.88°C , sus entalpías de gelatinización varían desde 9.04 ± 1.71 J/g. Estos resultados son comparables con los obtenidos por Sandoval *et al.*, (2005) en harina de yuca (*Manihotesculenta*) quienes encontraron valores de T_p de $77.6^\circ\text{C} \pm 1$ y de entalpia (ΔH_p) de 13.8 J/g, y en harina de trigo con valores T_o : 57°C , T_p : 62.3°C y ΔH_p : 5.3 J/g encontrados por Zaidul *et al.*, (2008). Estas diferencias en gelatinización reflejan los comportamientos frente a la cocción. Da Mota *et al.*, (2000); Zhang *et al.*, (2004).

Así mismo, son comparables con los reportados por Coello et al., (2012) quienes encontraron temperaturas de gelatinización muy similares (T_p $73\text{-}75^\circ\text{C}$) al trabajar con tres variedades de arroz ecuatoriano; esto se da debido a que el contenido de amilosa es diferente en cada variedad de arroz, ya que la amilosa tiene capacidad para formar puentes

de hidrógeno, lo que disminuye su afinidad con el agua y hace que se requiera una cantidad alta de energía para incorporarla en su estructura, elevando la temperatura inicial de gelatinización para aquellos almidones con mayor proporción de amilosa. Salinas *et al.*, (2003).

Morales *et al.*, (2014) compararon harinas de arroz de la variedad Indica y Japónica observando temperatura de gelatinización (T_p) en el rango de 66.1-79.4°C con entalpía (H) valor entre 3.4 a 8.1 J / g; la cocción de esta produce gelatinización del almidón y este polímero interactuaba con la proteína para formar adsorción reversible, que influye en la adherencia de la harina de arroz. Chrastil, (1993).

Valores altos de entalpía de gelatinización de las muestras de harina de arroz tratadas con US, sugieren condiciones de procesamiento más sutiles, porque un tratamiento térmico drástico produce gelatinización del almidón con mayor grado de desorganización; por esta razón, al tratar las muestras en el calorímetro diferencial de barrido sólo se encontró una endoterma alta. Además, los valores mucho más bajos de la entalpía indican que las condiciones de procesamiento fueron severas y el almidón se encuentra gelatinizado Bello *et al.*,(2002).

Autores como, Pineda *et al.*, (2010); Kawaljit *et al.*,(2007); Biliaderis (1992); Galliard, (1987); reportan que en las muestras se presenta un único pico endotérmico que identifica la transición de gelatinización del almidón, donde el área bajo la curva permite hallar la entalpía de la transición; la temperatura inicial del pico identifica el inicio del hinchamiento del gránulo por la entrada de agua, presumiblemente en las estructuras amorfas. Los resultados indican que la gelatinización ocurre en un rango angosto de temperatura, para altos niveles de humedad, lo cual implica que la fusión de los cristales asociados con la gelatinización ocurre en un proceso simultáneo, mientras que para limitado porcentaje de humedad, el hinchamiento inicia primero en los gránulos de menor tamaño reduciendo la disponibilidad de agua para los gránulos de mayor tamaño, retardando la finalización del proceso.

Las temperaturas de transición de fase (T° pico), son características de gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas, la caracterización de las harinas permite proyectar aplicaciones en la formulación de alimentos, entre ellos panificados libres de gluten, Umaña (2013). En muchos alimentos los efectos fisicoquímicos pueden ser observados en el rango de temperatura de -50°C y 300°C , estos fenómenos pueden ser endotérmicos como fusión, gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas Lörinczy (2004). Los termogramas de cada tratamiento muestran una transición endotérmica representada por una temperatura de pico. Para efectos de esta investigación en la búsqueda de materias primas potenciales en procesos para la panificación; este pico representa el cambio del material vegetal a esa temperatura, significando un cambio funcional de cada uno de los componentes de las harinas que puede ser fusión de lípidos, cuando se presenta a temperaturas entre 40 y 50°C , la desnaturalización de proteínas puede presentarse entre 60 y 80°C y gelatinización parcial o total del almidón, se presenta entre 50 y 70°C , igualmente la presencia de proteínas asociadas a grasa, puede hacer que se aumente esta temperatura, como fue observado en la soya en estudios similares. Sciarini *et al.*, (2008).

La temperatura final (T_e) de todos los tratamientos estuvo en un rango de $77,52 - 86,66^{\circ}\text{C}$, esto podría darse en base a la longitud de la cadena de amilopectina, que representa un papel muy importante en la gelatinización. Los gránulos que presenten una cadena de amilopectina más larga podrían tener una temperatura de gelatinización mayor lo que ocasiona que ésta transición se prolongue, concluyendo éste evento a mayor temperatura. No ocurre lo mismo con cadenas de amilopectina cortas, donde el proceso de gelatinización empieza a menor temperatura lo que permite concluir el evento a menor temperatura, Coello *et al.*, (2012); Charles (2005).

Fioramonti *et al.*, (2014) reportan que sobre 85°C ya no se observan transiciones debido al tratamiento térmico por ocurrir una desnaturalización completa de las proteínas. Estos resultados son semejantes a lo reportado por, Noisuwan *et al.*, (2008), quienes encontraron una T_f de 79°C en mezclas de almidón de arroz. La calorimetría diferencial de barrido

(DSC) detecta la desnaturalización como un pico endotérmico, lo que proporciona información sobre la fracción de proteína desnaturalizada que hay en la muestra. En la mayor parte de los casos, las proteínas procesadas tienen entalpías de reacción más bajas, porque partes de la proteína pueden haberse desnaturalizado ya durante su tratamiento Porras *et al.*, (2015).

López *et al.*, (2011) reportaron que altos valores de entalpia representan mayor cantidad de gránulos de almidón que pueden desarrollar mayor viscosidad, durante el amasado de la tortilla y que afecta las propiedades reológicas de la masa obtenida. Este parámetro esta relacionando inversamente con el grado de gelatinización de los almidones. Un almidón después de gelatinizado y deshidratado al rehidratarse no desarrolla viscosidad, y por el contrario uno nativo, tiende a desarrollar la viscosidad a su máxima capacidad. Arambula *et al.*, (2001).

En la tabla 5, se presentan los resultados del efecto del US sobre las entalpías de gelatinización en la harina de arroz, donde se observa que la muestras tratadas con US a 40KHz a una temperatura de 40°C durante 15 minutos obtuvieron un aumento significativo ($p < 0,05$) en este parámetro comparadas con las demás muestras; sin que entre los demás tratamientos se muestre diferencias significativas ($p < 0,05$) al modificar las condiciones de tiempo y temperatura; debido probablemente al efecto de cavitación causado por el US, que dispersa los aglomerados de gránulo de almidón y aumenta la transferencia de masa en la capa límite entre los gránulos y la fase acuosa; ya que se presentan fisuras y depresiones. La perturbación de los gránulos facilita la entrada de líquidos y mejora la cinética de reacción enzimática modificando estos polímeros, Majzoobi *et al.*, (2015).

Resultados similares obtuvo Majzoobi *et al.*, (2015) quien reporta el efecto de alta potencia del US a un baño de 240W, 35 KHz, por 20, 40 y 60 min en suspensión de almidón de trigo (20% w/v), observando que al aumentar el tiempo (20 y 40 min) de sonicación se presenta un aumento progresivo en la solubilidad y la fuerza del gel; mientras que a 60 minutos de

sonicación ha demostrado una disminución de estas propiedades debido a distorsión del gránulo de almidón.

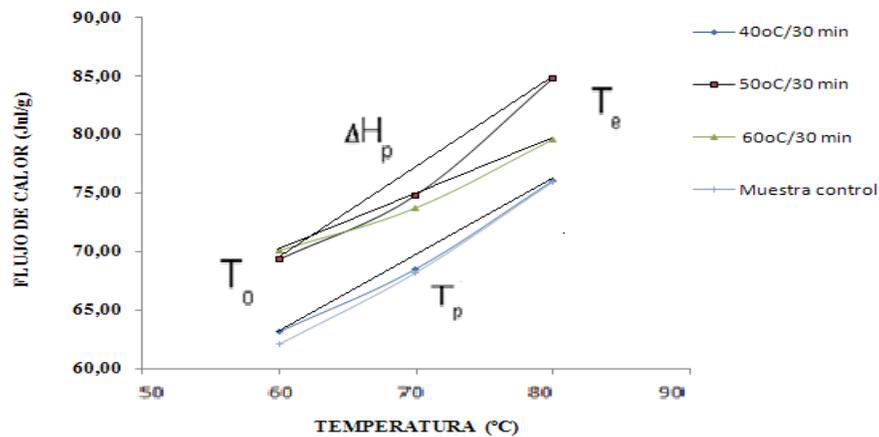
Chemat *et al.*, (2011) reportan que el proceso de despolimerización se produce a través de los efectos de la cavitación y puede implicar dos posibles mecanismos: la degradación mecánica de la polímero a partir de burbujas de cavitación colapsado y química la degradación como resultado de la reacción química entre el polímeros y moléculas de alta energía tales como hidroxilo radicales producidos a partir de cavitación. El US produce cambios en la estructura molecular de almidón, seguida por las variaciones en las propiedades fisicoquímicas y funcionalidad, las fuerzas de cizalla cavitacional violenta distorsiona la región cristalina en gránulos de almidón y las cadenas del polímero se rompen en los enlaces C-C macromoleculares, dando formación a radicales de cadena larga. Esto resulta mejoran la capacidad de absorción de agua, mayor potencia hinchazón y mayor solubilidad, Majzoobi *et al.*, (2015). Resultados similares se han reportado en estudios en maíz, la papa y el trigo almidones, Sandhu *et al.*, (2007); Jambrak *et al.*, (2010); Zhu *et al.*, (2012); Sujka *et al.*, (2013).

De igual manera, estudios realizados por, Majzoobi *et al.*,(2015) investigaron sobre el efecto del tiempo de sonicación y la temperatura sobre las propiedades físicas de los almidones de trigo nativas y reticulados, mostrando que al someter a US con una sonda ultrasónica a 20 kHz, 100% de la amplitud de la onda y la potencia de sonicación de 100 W durante 5, 10, 15 y 20 min a 5 y 22°C se aumenta la solubilidad de agua fría, disminución de la viscosidad intrínseca, entalpía de gelatinización, pico, valle, retroceso y viscosidades finales de ambos almidones a medida que se incrementa el tiempo de sonicación y la temperatura, Wu *et al.*, (2011). De acuerdo a Luo *et al.*, (2008) y Jambrak *et al.*, (2010), el colapso repentino de las burbujas de cavitación genera gradientes de alta presión y las velocidades locales de capas líquidas que resulta en alta fuerzas de cizalla capaces de dañar los gránulos; estos cambios morfológicos pueden generar alteraciones en la propiedades físicas de las muestras.

Czechowska-Biskup *et al.*, (2005) y Jambrak *et al.*, (2010) señalaron que el agua se puede descomponer en átomos de H y radicales OH activos que reaccionan con la amilosa y la amilopéctina causando la degradación del almidón; al parecer, el aumento de la temperatura causado por US promueve la formación de radicales causado una disminución en la viscosidad intrínseca de ambos almidones.

Los análisis estadísticos realizados indicaron que se presentaron diferencias significativas al 95% entre todos los tratamientos examinados y con la prueba de DMS se pueden asociar tres grupos homogéneos.

Figura 9. Termogramas DSC de harina de trigo sometidas a US durante 30 min.

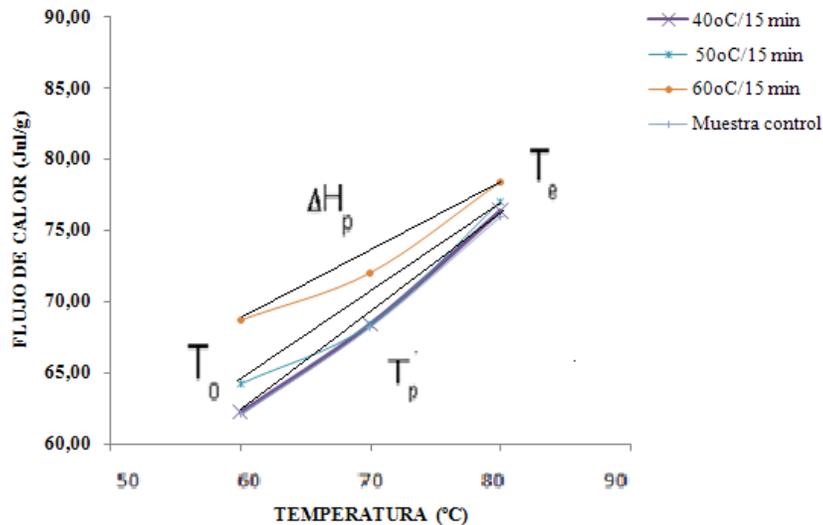


Fuente: Autora del proyecto

En el termograma se presenta la transición térmica de las muestras de harina de trigo tratadas con US, presenta un pico endotérmico sobre la línea base del termograma que comienza en un rango de 62 a 70°C (temperatura inicial-To) todos los tratamientos. El valor de la temperatura de pico (Tp) estuvo entre 68,19 -74,79°C en la cual se registran los valores más altos de absorción de calor; a medida que el proceso finaliza, el sistema regresa a un estado en el cual no hay cambios en la fase ni en la composición de la muestra, tal

como se refleja en el termograma cuando el pico endotérmico se retrae hasta llegar a la línea base alcanzando una temperatura final (T_e) en un rango de 75,94 – 84,81°C.

Figura 10. Termogramas DSC de harina de trigo sometidas a US durante 15 min.



Fuente: Autora del proyecto

El tratamiento de US a 40KHz/50°C/30 min mostró un mayor valor en la entalpía de gelatinización (ΔH_p) para la harina de trigo de 8,47 Jul/g y los menores fueron de 3,91 y 3,15 Jul/g para las muestras que utilizaron una temperatura de 40KHz/60°C durante 15 y 30 minutos respectivamente (Tabla 5); mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los tratamientos. Observando que la línea base del termograma aumenta por que el sistema no requiere de mayor flujo de calor o energía con el fin de garantizar el proceso de gelatinización

En el tabla 5, se presentan los resultados del efecto del US sobre las entalpias de gelatinización en la harina de trigo, donde se observa que las muestras tratadas con US a 40KHz a una temperatura de 40 y 50°C durante 15 y 30 minutos no tuvieron diferencias mínimas significativas (DMS- $p < 0,05$) con la control; a mayor temperatura 60°C mostro una disminución significativa ($p < 0,05$) en comparación con los demás tratamientos.

Estos resultados coinciden con Sandhu *et al.*, (2007) quienes reportaron rangos muy similares de temperatura de gelatinización del almidón en diferentes variedades de maíz, iniciando con un rango de T_o de 65 a 69 °C, el valor de T_p estuvo entre 69-74°C y T_e en un rango de 75–80°C; estos valores están de acuerdo con los observados para los almidones normales de maíz. Ng *et al.*, (1997); Seetharaman *et al.*, (2001). Así mismo, Liu *et al.*, (2007) reportaron entalpías en un rango de 8,2 a 12,3 J/g para los almidones de germoplasma de maíz tropical, las variaciones en este podría deberse a las diferencias en las fuerzas de unión entre las dobles hélices que forman los cristalitos de amilopectina, resultado de la alineación de los hidrógenos dentro de las moléculas de almidón McPherson *et al.*, (1999).

Las muestras tratadas con US que manejaron una temperatura de 40KHz /60 °C durante 15 y 30 minutos presentaron las menores entalpías del proceso de 3,91 y 3,15 Jul/g respectivamente (tabla 6), resultados similares reportaron, Ji *et al.*, (2003) quienes encontraron entalpías de gelatinización del almidón en diferentes variedades de maíz de 4.6 a 6.9 J/g; esto puede deberse a una débil cristalización del almidón, Sasaki *et al.*,(2000); Frydenberg *et al.*,(2016) evaluó el impacto de ultrasonido de alta intensidad (HIU) en los aislados de proteína de suero de leche, observando que a 24 KHz, 300 W/cm², 2078J/mL se reducía significativamente las entalpías, mientras que no se detectó cambio en la estructura secundaria de las proteínas.

Los análisis estadísticos realizados indicaron que se presentaron diferencias significativas al 95% entre todos los tratamientos examinadas y con la prueba de DMS se pueden asociar dos grupos homogéneos.

Al comparar los valores de estabilidad térmica en las dos harinas (arroz y trigo), se puede observar que las muestras de harina de arroz tratadas con ultrasonido presentaron resultados superior, esto podría deberse a al afecto del US en las moléculas de almidón mencionados anteriormente.

4.1.3 Comparación de los porcentajes de digestibilidad in vitro y digestibilidad ponderada en harinas de arroz y harina de trigo tratadas con ultrasonido.

En la tabla 6. se muestra el resultado obtenido de la digestibilidad de la proteína obtenida en forma in vitro bajo dos tratamientos específicos y la digestibilidad ponderada obtenida al considerar la proporción de la población urbana y rural es de 83,5 %, lo cual representa un valor cercano a 85% para dietas basadas en cereales y hortalizas.

Tabla 6. Resultados de la comparación de la digestibilidad in vitro y digestibilidad ponderada.

Alimento	Muestra control	Tratamiento 40KHz	Digestibilidad <i>in vitro</i> %	Digestibilidad ponderada %
Harina de trigo	85.05	50°C /30min.	85.93	90.9
Harina de arroz	81.29	50°C /15 min.	84.16	97.7

Fuente: Autora del proyecto

Al analizar las digestibilidades in vitro de las harinas de trigo y arroz después de haber sido sometidas a ultrasonido bajo diferentes tratamientos se obtuvo un mayor porcentaje en el tratamiento de 40KHz/50°C/ 30 minutos con la harina de trigo con un 85.93% , a éste respecto, Suarez *et al.*, (2006) reportaron en un estudio similar donde examinaron 70 alimentos no sometidos a efectos de ultrasonido, una digestibilidad proteica de 47.81% para la harina de trigo con un porcentaje inferior a los resultados obtenidos en la presente investigación. Así mismo, para la harina de arroz que para el estudio de Suarez fue integral, éstos reportaron un valor de 60.85% el cual comparado con nuestro estudio sigue siendo inferior dado que encontramos una digestibilidad de 84.16%, las diferencias encontradas en éstos resultados pueden ser debido al efecto del ultrasonido sobre las muestras de alimentos dado que el calor, puede incrementar la digestibilidad al modificar la estructura terciaria y secundaria lo que conlleva a la desnaturalización de la proteína Cheftel *et al.*, (1993), lo cual se puede corroborar al comparar los porcentajes obtenidos

con la muestra patrón en donde se puede observar un aumento de éstos. Algunos autores reportan que las diferencias significativas encontradas se pueden deber a la parte estructural del grano utilizado para el análisis de digestibilidad proteica, debido a que la calidad de los granos y las variaciones que se presentaron podrían ser el resultado de factores genéticos y ambientales; alterando la composición de las proteínas. Cafaro (2006).

En general, la solubilidad de las proteínas aumenta con la temperatura, entre 0 y 40-50°C; por el contrario los tratamientos térmicos mal aplicados (altas temperaturas durante tiempos prolongados) provocan la formación de enlaces indigestibles entre aminoácidos o entre aminoácidos y azúcares (reacción de Maillard), lo que reduce su digestibilidad. Así lo explica, Rosales *et al.*, (1996) quienes obtuvieron para el polvillo de arroz un 68,14% de digestibilidad, concluyendo que la variedad de arroz, al método de pilado, tipo de suelo y época intervienen en éstos resultados así mismo, Ceron (2006) reporta que el arroz pulido tiene un 88% y el entero un 75% de digestibilidad; esto debido a que en el pericarpio se encuentra un menor contenido de proteína y un mayor contenido de fibra (FAO 1993).

De igual manera cabe destacar que los valores de 84.16% son menores comparados con los valores reportados sobre digestibilidad ponderada reportados por la FAO de 97,7% para harina de arroz y 85.93% para harina de trigo comparada con el 90. 9% reportado por la FAO para harina de trigo. Éstas diferencias en la digestibilidad pueden deberse a factores inherentes a la naturaleza de las proteínas alimentarias, a la presencia de componentes no proteicos con influencia en la digestión (fibra de la dieta, taninos, fitatos) que son propias de la dieta , a la presencia de factores antifisiológicos o a las condiciones de elaboración que pueden interferir en los procesos enzimáticos de liberación de los aminoácidos Church y Pond (1990) en el proceso in vitro utilizado para obtener el resultado final.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para el análisis del contenido proteína de las muestras de harina de trigo fue de 4.90 % y arroz fue de 8,83%, lo que muestra que la cantidad y composición de la proteína es responsables del potencial de comercialización de una harina para diferentes procesamiento en la industria alimentaria (panificación, papillas, coladas, galletería, cremas instantáneas, sopas); la calidad proteica depende de varios factores como su variedad, las diferencias en la estructura de las proteínas, al tipo de grano, a la tecnología de procesamiento.

En los porcentaje de digestibilidad en las harinas (arroz y trigo) tratadas con US, mostró un incremento significativo de un 86% en las muestras de harina de trigo (40 KHz/50 y 60 °C/15 minutos), esto podría deberse a la constitución básica de la harina de trigo; ya que la molienda de los granos aumenta la superficie para el ataque enzimático y el tratamiento de sonicación incrementa la temperatura de las proteínas desnaturalizándolas mejorando la digestibilidad.

Los valores de estabilidad térmica en las harinas (arroz y trigo), mostró que las muestras de harina de arroz tratadas con US (40KHz/40°C/15 min) presentaron un aumento significativo 9,89 en la entalpia, características que permiten reducir los costos energéticos en diferentes procesos agroindustriales, ya que gelatinizan a una temperatura relativamente baja y el pico máximo se alcanza rápidamente, por tanto son de fácil cocción y requieren menos energía que otros tipos de almidón.

El tratamiento con US afecta el proceso de gelatinización del almidón, pero su influencia se ve menos marcada cuando el tiempo de calentamiento es menor, pues se permite la aproximación hacia el equilibrio. Se pudo demostrar que el efecto del US en las harinas es de retrasar la transición de fase de gelatinización del almidón y de mejorar la estabilidad térmica de la harina, puesto que aumenta la temperatura de degradación de la misma.

Se encontró que el tratamiento de ultrasonido influyó significativamente la funcionalidad de los gránulos de almidón por tanto, este tratamiento puede ser una opción prometedora para cambiar las propiedades tecnológicas de almidón.

Los porcentajes obtenidos en los resultados de digestibilidad proteica *in vitro* en muestras de harina de trigo y Harina de arroz bajo tratamientos de 40KHz50°C /30min y 50°C /15 min, respectivamente. Mostraron valores diferentes comparados con las digestibilidades ponderadas reportados por la FAO 1991; una de las razones es que el método utilizado *in vitro* simula una digestión humana pero sin embargo no se puede controlar toda la producción enzimática y gástrica que existe verdaderamente en la fisiología humana lo que explicaría la variación en los datos.

La aplicación del Ultrasonido en las muestras de harina de trigo y arroz, permitió observar un aumento significativo en el porcentaje de digestibilidad proteica y en las entalpías de estas mismas muestras, lo que favorece el aumento de la digestibilidad del producto y mejora aporte nutricional con relación a la calidad de la proteína en las muestras estudiadas. Sin embargo este estudio nos permitió concluir que existe diferencia en los datos obtenidos de la digestibilidad *in vitro* comparados con los datos reportados para digestibilidad ponderada.

RECOMENDACIONES

Se necesitan más estudios relacionados con temáticas de ultrasonido y Calorimetría Diferencia de Barrido ya que en Colombia son muy pocos los estudios relacionados con este tipo de investigaciones y fue difícil encontrar bibliografía al respecto a nivel Nacional.

A partir del estudio del efecto del ultrasonido en la estabilidad térmica y digestibilidad de las harinas de trigo y harina de arroz, se pueden realizar otro tipo de investigaciones con diversos alimentos con mayor contenido de proteína para evidenciar mucho más el efecto de tratamiento sobre la digestibilidad proteica y así obtener mayores resultados; ya que en la actualidad se busca reducir el tiempo y costo de los tratamientos para mejor rendimiento y productibilidad en la industria alimentaria.

Con los resultados obtenidos en esta investigación, se mostró que el ultrasonido es una técnica que podría ser eficiente en los procesos de digestibilidad de proteína y los resultados ,se podría extrapolar a otros productos de origen vegetal que sea mínimamente procesados y por ende perecederos, para observar su evolución y optimizar mejor los alimentos.

Dado los resultados obtenidos de las comparaciones de la digestibilidad in vitro y la ponderada se podría pensar en hacer más investigaciones con otros productos básicos de consumo para de forma real poder manejar adecuadamente el cálculo nutricional especialmente de digestibilidad ya que es importante en poblaciones vulnerables para mejorar el estado nutricional de individuos y grupos específicos.

La aplicación de pruebas y técnicas como la calorimetría diferencial de Barrido a productos de consumo básico permitiría conocer el cambio en el valor nutricional de las proteínas durante el procesamiento de modo que nos permitiría a los profesionales en nutrición elegir condiciones que minimicen la pérdida de nutrientes.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, I. Mañas, P. Sala, J. y Condón, S. (2003). Inactivation of *Salmonella entericaserovarenteritidis* by ultrasonic waves under pressure at different water activities. *Applied and Environmental Microbiology* (69). pp. 668-672.

Anderson, R. (1982.). Water absorption and solubility and amylographic characteristic of roll. Cooked small grain product. *Cereal Chemistry* 59(4). pp. 265-269.

Arambula Villa, Gerónimo, BarrónÁvila, Laura, González Hernández, J., Moreno Martínez Ernesto y Luna Barcenas Gabriel (2001). Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mayz* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *ALAN*, jun. 2001, vol.51, no.2, pp.187-194.

Arteaga, J. y Bertorelli, L.O. (2006). Evaluación nutricional de la proteína del grano de seis cultivares de sorgo (*Sorghumbicolor*(L.) Moench). *Rev. Fac. Agron. (Maracay)*, 1989, pp.213-224.

AOAC. (1996). association of official analytical chemists. official methods of analysis of the association of official analytical chemists international, horwitz w. editor, Washington D.C.

Astiasaran I, Martinez J.A. (2000). *Alimentos, composición y propiedades* Edificio Valrealty ISBN: 84-486- 0305-2 28023. Segunda edición. Aravaca (Madrid).

Azhakanandam, K.; Power, J. y Lowe, K. (2000). Qualitative assessment of aromatic Indica rice . Proteins, lipids and starch in grain from somatic embryo and seed derived plants. *Journal of Plant Physiology* 156. pp. 783-789.

Bach, D y Chapman, D. (1980). *Biological Microcalorimetry*. Academic press, London. pp.265.

Badui, D.S. (1999). *Química de los alimentos*. 3aed. Edit. Pearson Educación. México, D.F. pp. 151,170-173.

Badui, S. (2006). *Química de alimentos*. Cuarta Edición. México. pp. 209.

Basak, S.; Tyagi, R. y Srivastava K. (2002.) Biochemical characterization of aromatic and non - aromatic rice cultivars. *Journal of Food Science and Technology* (39) : 55-58.

Barbosa, G. Phontakamury, U. y Swanson, B. (1998). *Nonthermal preservation of foods*. New York, USA.

Bednar, G.E., Patil, A.R., Murray, S.M., Grieshop, C.M., Merchen, N.R., Fahey Jr., G.C. (2001) Starch and fiber fractions in selected food and feed ingredients affect their small intestinal digestibility and fermentability and their large bowel fermentability in vitro in a canine model. *J. Nutr.* 131, pp. 276–286.

Bello, P. L.; Agama, A.; Osorio-Díaz, P.; Utrilla-Coello, R.; y García-Suárez, F. (2011). *Banana and Mango Flours*. En: Preedy, V.; Watson R.; y Vinood B. (eds.). *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention*. Academic Press. pp. 235 - 245.

Bicho, M. (1998). Efecto del procesamiento térmico sobre las propiedades funcionales de la harina de salvado de arroz (*Oryza sativa* L.). Trabajo de grado. Facultad de agronomía. Escuela de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Estado Aragua. Venezuela.

Belton P. S, (1999). On the elasticity of wheat gluten. *J. Cer. Sci.* 29 pp.103- 107.

Bermúdez Ana Silva y Rodríguez Guzmán Rosa (1995). Propiedades funcionales de las proteínas. Química de Alimentos. Colombia. pp. 101-107.

Belitz y Grosch. (1985). Química de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. p.p 813.

Biliaderis, A. (1992). Structures and Phase Transitions of Starch in Food Systems. Food Technology.

Begum, M. y Bhattacharya, R. (2000). Fat contents in raw and cooked rice varieties. Journal of Food Science and Technology 37. pp.58-60.

Bryant, R.; Kadan, R.; Champagne, E. ; Vinyard, B. y Boykinn, D. (2001). Functional and Digestive Characteristics of Extruded Rice Flour. Cereal Chemistry 78(2).pp. 131-137.

Bracho, H. (2004). Diseño e implementación de un plan HACCP en la línea de un producto a base de un cereal a ser usado en bebidas infantiles. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. Escuela de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Estado Aragua. Venezuela.

Buckow, R; Virkajarvi, I; Heinz, V. y Knorr, D. (2001). Ultrasonication of mash from barley malt and its effect on filtration and on the extraction of soluble solids. Eurocaft (42).

Burits, M. y Bucar, F. (2000). Antioxidant activity of Nigella saliva essential oil. Phytother. Res (14). pp. 323-328.

Brennan, J.; Butters, J.; Cowell, N. y Lilly, A. (1970). Las operaciones de la ingeniería de alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Cafaro, M.J.(2006). Inducción de la senescencia en plantas de trigo y arroz. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Licenciatura en Ciencias Biológicas. Vol.Nº 175. Universidad de Belgrano. Buenos Aires, Argentina.

Cano, P. Ancos, B. y Sánchez, C. (2005). Altas presiones, nuevas alternativas para la mejora de la calidad y seguridad en vegetales frescos cortados. Nuevas tecnologías de conservación y envases. pp. 1-9.

Casuso, A., Rodríguez-Viera, L., Perera, E. (2013). Digestibilidad in vitro de carbohidratos en la langosta espinosa *Panulirus argus* (Latreille, 1804) Rev. Invest. Mar. 33(2). pp. 62-72.

Ceron, a. (2006). Determinación de la digestibilidad in vitro de la proteína contenida en fitatos y lisina disponibles en variedades criollas de maíz. Universidad autónoma del Estado de Hidalgo. pp. 32-59.

Charles A.; Chang Y.; Ko W.; Sriroth K. &Huang A., (2005). Influence of Amylopectin Structure and Amylose Content on the Gelling Properties of Five Cultivars of Cassava Starches, Journal of Agricultural and Food Chemistry.

Chrastil, J. (1992). Correlation between the physicochemical and functional properties of rice. Journal of Agriculture and Food Chemistry 40(6). pp. 1683 -1686.

Chávez .C. E. Murillo, Y.-J. Wang, A. G. (2011).Quintero Gutiérrez and L. A. Bello-Pérez, "Physicochemical, Textural, and Nutritional Characterization of Mexican Rice Cultivars," Cereal Chemistry, Vol. 88, No. 3, pp. 245-252.

Cheftel, J.; Cuq, J. y Lorient, D. (1993). Aminoácidos, péptidos y proteínas. En Química de los Alimentos. Director O. Fennema. Acirbia. pp. 275-414.

Chemat, F., Huma, Z., Kamran Khan, M. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction *Ultrasonics Sonochemistry* 18, pp. 813–835.

Chen, J.; Lu, S. y Lii, C. (1999). Effects of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. *Cereal Chemistry* 76(5). pp. 796-799.

Chrastil, J. (1993). Changes of Oryzenin and Starch during Preharvest Maturation of Rice Grains,” *Journal Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 41, No. 12, pp. 2242- 2244. En línea. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/jf00036a003>. Recuperado Agosto/2015.

Church, D.C.; WG.Pond.(1990). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da ed. Ed. Limusa. México. pp. 51-60.

Coello, V. y Garcés, C. (2012). Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)”. Escuela Superior Politécnica Del Litoral. pp. 9-60.

Cooper, A, y Johnson, C.M.(1994). *Methods in Molecular Biology*. Vol 22. pp.109-124.

Cortazar, Martinez, A. (2011) *Las Proteínas*. Bioquímica I. Universidad autónoma de Estado Hidalgo.

Cuzon, G., Rosas, C., Gaxiola, G., Taboada, G. and Van Wormhoudt, A. (2000) Utilization of Carbohydrates By Shrimp. En L.E. Cruz- Suárez, D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.A. Olvera-Novoa, y R. Civera-Cerecedo, (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola V (Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Noviembre, Mérida, Yucatán. pp. 19-22.

Czechowska-Biskup, R., Rokita, B., Lotfy, S., Ulanski, P. And Rosiak, J.M. (2005). Degradation of chitosan and starch by 360-kHz ultrasound. *Carbohydr. Polym.* 60. pp. 175–184.

Da Mota, R. V.; Lajolo, F. M.; Ciacco, C.; y Cordenunsi, B. R. (2000). Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Stärke. [Starch]* 52(2-3)..pp. 63 - 68.

Delgado, C. J. (2014). Evaluación de harinas de chachafruto y Quinoa como extensores en el proceso de elaboración de salchichas tipo Frankfurth.

Dendy, D; Dobraszczyk B. (2004). *Cereales y productos derivados. Química y Tecnología.* Editorial Acribia. Zaragoza. pp.15-21.

Desrosier, N. (1983). *Elementos de Tecnología de Alimentos.* Compañía. Editorial continental. México.

Díaz Paola Dellavalle¹ ; Marco Dalla Rizza¹; Daniel Vázquez y Marina Castro. (2006). elementos de análisis cualitativo y cuantitativo en proteínas del gluten de trigo. *agricultura técnica.* 66(4). Chile. pp.60,369.

Doktyez, S. y Suslick, K. (1990). Interparticle collisions driven by ultrasound. *Science JSTOR* (47). pp. 1067-1069.

Earnshaw, R. Appleyard, J. y Hurst, R. (1995). Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *Journal Food Microbiology* (28). pp. 197-219.

Espinal, C. Martínez, J. (2005). *La cadena de arroz en Colombia.* Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Colombia. pp. 5.10.

FAO (1991). Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Food, nutrition and agricultura. pp20.

FAO. (1993). Food and Agriculture Organization of United Nations.FAOSTAT.

FAO. (1994). Estado Mundial de la agricultura y la alimentación. Departamento Económico y social organización de las naciones unidas. Roma pp. 1-16.

FAO. (2009). Organización mundial de alimentos. Seguimiento del mercado del arroz. pp. 11-13.

FAO. (2010). Organización mundial de alimentos. Seguimiento del mercado del arroz. pp. 1-3.

Feldman, E.B. Principios de Nutrición clínica. 3a reimpresión, (1990). Edit. Manual Moderno. México, D.F. pp. 10-13.

Fennema, O. (2000). Química de los alimentos. Zaragoza, España. Acriba. pp. 82-92,1189.

Fennema, O.R. (2000).Química de los alimentos. 2ªed.. Edit. Acribia. Zaragoza, España. p.p 471.

Ferreira.J.C., E.M. Kuskuski,M.T. Bordignon Luiz,D barrera Arellana y R. Fett.(2007). Propiedades emulsificantes y espumantes de las proteínas de las harinas de cacahuete. Universidad Federal de Santa Catalina. pp. 264-267.

Fioramonti, S. A., A. A. Pérez, E. E. Aríngoli, and A. C. Rubiolo. (2014). Design and characterization of soluble biopolymer complexes produced by electrostatic self-assembly of a whey protein isolate and sodium alginate. Food Hydrocolloid. 35. pp. 129-136.

Floros, J.D. y Liang, H.(1994). Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. *J. foodTechnol.* (48). pp. 79-84.

Freire, E Van Osdol, W,W, Mayorga, O,L y Sanchez-Ruiz, J,M (1990).*Annu. Rev. Biophys, Chem.* Vol 19. pp.159-188.

Frydenberg, R. Hammershøj, M. Andersen, U.Greve, M. y Wiking, L. (2016) Protein denaturation of whey protein isolates (WPIs) induced by high intensity ultrasound during heat gelation. *FoodChemistry.* Volumen 192. pp. 415–423.

Gajardo. Repetto. P. (2005). Caracterización y determinación de la estabilidad durante elalmacenamiento de las proteínas de harina de quinua orgánica sin pulir y pulida proveniente de la vi región de Chile.

Gallego, J. Rodríguez, G. Montoya, F. Vázquez, F. Elvira, L. Navajas, M. Gálvez, G. y Blanco, A. (2000). Aplicaciones industriales de los ultrasonidos de potencia. *Revista de Acústica* (3 y4). p. 1-5.

Galliard T, Bowler P. (1987).*Starch: Properties and Potential.*: John Wiley. New York, NY.

Garcia M. Gonachategui. (2010). Efectos del tratamiento térmico de las materias primas de harinas. Madrid. España. p.p. 57-59.

Gélvez, V. Pereira, A. Ramón, D. y Sandoval, L. (2006). Efectos del ultrasonido en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la carne de pollo empacada al vacío. *@limentech* (4). pp. 74-79.

Gélvez, V. y Campo, Y. (2010). Efecto de la aplicación de termosonicación en la conservación del hongo comestible (*Pleurotusostreatus*) fresco empacado al vacío. Tesis Maestría Universidad de Pamplona. Colombia. pp. 33-39.

Gélvez, V. y Fuentes, L. (2010). Efecto del ultrasonido y campos magnéticos sobre las propiedades físicas, químicas, reológicas y microbiológicas de la carne de lomo de atún (Thunnusalbacares). Tesis Maestría Universidad de Pamplona. Colombia. pp. 50-52.

Gélvez, V. y Hernández, S. (2010). Efecto del ultrasonido y campos magnéticos sobre las propiedades físicas, químicas, reológicas y microbiológicas del huevo entero líquido. Tesis Maestría Universidad de Pamplona. Colombia. pp. 76-79.

Gómez, J. y López, A. (2009). Aplicaciones del ultrasonido en el tratamiento de alimentos. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos (3). pp. 59 – 73.

González, L. Téllez, A. Sampedro, J. y Nájera, H. 2007. Las proteínas en la nutrición. Revista Salud Pública y Nutrición. Volumen 8 No. 2. pp. 1-7.

González, C. (2004). Delicias al paladar. Periódico el siglo.(2C). pp. 2.

Han, I. Barry, G. y Byung, K. (2007). "Protein Digestibility of Selected Legumes Treated with Ultrasound and High Hydrostatic Pressure During Soaking". Cereal Chemistry(84). pp. 518-512.

Hernández Manuel., Sastre Gallego (1.999) Tratado de Nutrición. Edit Díaz Santos, Madrid. p.p.111-114.

Herrero, M. y Romero, M. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. Revista Medica Universidad Navarra (50). España. pp. 71-74.

Hielscher, T. (2005). Ultrasonic production of nano-size dispersions and emulsions. ENS'05 Paris. France.

Hoover, D. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies ultrasound. *Journal of Food Science*. pp. 93-95.

Hoseney C. (1991). *Principles of Cereal Science and Technology*. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. 2ªed. Acribia S.A. Zaragoza: pp. 67- 171.

Hsu. H; Vavak. D; Satterlee. L. y Miller.,G. (1977). A multienzyme Technique for estimating protein digestibility. *Journal of food Science*. 42(5). p.p. 1269-1279.

Houston, D; Mohammad, A.; Wasserman, T. y Kester, E. 1964. High protein rice flours. *Cereal Chemistry* 41. pp. 514 – 523.

Hueter, T.F; Morgan, H. y Cohen, M.S. (1993). Ultrasonic attenuation in biological suspensions. *J. Acoust. Soc. Am.* (25). pp. 1200 – 1201.

Huhtanen, C.N. (1966). Effect of ultrasound on disaggregation of milk bacteria. *J. Dairy Sci.* 49). pp. 1008 – 1010.

Islas-Rubio, A. R., MacRitchie, F., Gandikota, S y Hou, G.(2005). Relaciones de la Composición Proteínica y Mediciones Reológicas en Masa con la Calidad Panadera de Harinas de Trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 28(3). pp. 243-251.

Jambrak, A. Lelas, V. Mason, T. Krešić, G. y Badanjak, M. (2009). Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *Journal of Food Engineering* (93). pp. 386–393.

Jambrak, A. Herceg, Z. Šubarić, D. Babić, J. Brnčić, M. Brnčić, S. Bosiljkov, T. Tripalo, B. y Gelo, J. (2010). Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers* (79). pp. 91–100.

Jambrak, A.R., Herceg, Z., Subarić, D., Babić, J., Brncić, M., Brncić, S.R., Bosiljkov, T., Cvek, D., Tripalo, B. y Gelo, J. (2010). Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydr. Polym.* 79, pp. 91–100.

Jambrak, A.R., Lelas, V., Mason, T.J., Krešić, G., Badanjak, M. (2009). Physical properties of ultrasound treated soy proteins, *Journal of Food Engineering* 93 (4). pp.386-393.

Jambrak, A.R., Mason, T.J., Lelas, V., Herceg, Z., Herceg, Lj. (2008). Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions, *Journal of Food Engineering* 86 (2), pp.281-287.

Jayasooriya, S. Torley, P. darcy, B. y Bhandari, B. (2007). Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscle. *Meat Science* (75). pp. 628-639.

Ji, Y. K. Setharaman, K. Wong, L. M. Pollak, S. Duvick, J, Jane y P,J,White (2003). Thermal and structural properties of unusual starches from developmental corn lines, *Carbohydrates, polymers*. pp. 439-450

Jondreville, C. y Galvez, J. (2005). Estimación de la digestibilidad de aminoácidos en cereales y subproductos en dietas para ganado porcino. España.

Juliano, B. (2004). (Instituto internacional de investigaciones del arroz). El arroz en la nutrición humana. ONU para la agricultura y alimentación. pp. 40-75.

Juliano, B. O. (1985). *Rice Chemistry and Technology*. 2nd Edition (edited by B.O. Juliano). American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. pp. 774.

Kawaljit Singh Sandhu and Narpinder Singh. (2007). Some Properties of Corn Starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, ISSN 0308–8146, 101(4). pp. 1499–1507.

Kent. L. (1987). *Tecnología de los cereales*, Editorial Acribia S.A. Zaragoza España. pp 21-32.

Kennedy, B.; Schelstraete, M. y Del rosario, A. 1974. Chemical, physical and nutritional properties of high - protein rice flours. *Cereal Chemistry* 51(4):435-448.

Kharisov, B. y Méndez, U. (1999). Uso del ultrasonido en procesos químicos. *Revista de ingenierías* (5). pp. 13-21.

Khattab, R.Y y Arntfield, S.D. (2009) . *Food ciencia y Thecnology* vol. 42. pp. 207-221

Kieffer R, H Wieser, M H Henderson, A Graveland (1998) Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *J. Cer. Sci.* 27. pp.53-60.

Krause, D. (2000). *Nutrition y dietoterapia*. Editorial Acribia. 10 edición. pp. 795-800.

Kuldiloke, J. (2002). Effect of ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juice. Doctoral dissertation, Technical University of Berlin. pp.2-25.

Lara, F., Lopez, O., Sadgi, M. (2000). Estudio termodinámico de los estados parcialmente plegados del dominio SH₂ de Espectrina. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. pp. 4-10.

Lee, D. (2002). Application of combined non-thermal treatments for the processing of liquid whole egg. Doctoral dissertation, Technical University of Berlin. pp. 37-40.

- Lee, J. Feng, H. y Kushad, M. (2002). Effect of manothermosonication (MTs) on quality of orange juice. *Journal Agric* (48). pp. 4597-4605.
- León, L. y Rosell, C. (2007). De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. pp. 30.
- Leterme, P. Thielemens, C. Bodail, C. Baudart, E. y Thewis, A. (1989). *Revista de agricultura* (42). pp. 305-316.
- Lionetto, F. Maffezzoli, A. y Ottenhof, M. (2006). Ultrasonic investigation of wheat starch retrogradation. *Journal of Food Engineering* (75). pp. 258–266.
- Liu Q, Tarn, R. Lych, D. y Skjodt Neil, M. (2007). Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chemistry*. pp. 105-187.
- Liu Qiang, (2005). *Understanding Starches and Their Role in Food*, Taylor & Francis Group. pp. 331, 432.
- Lopez, L., Arambula Villa Gb. De la Cruz Lazaro E. a y Aparicio Trapala M. A. a. (2011). Caracterización Física y Química de Tres Genotipos de Maíz Sembrados bajo el Efecto. IX Congreso de ciencia de los alimentos y v foro de ciencia y tecnología de alimentos. pp. 2-8.
- López-Ferrer D, Capelo JL, Vázquez J. (2005). Ultrafast trypsin digestion of proteins by high intensity focused ultrasound. *J Proteome Res.* Sep-Oct;4(5). pp. 1569.
- López-Romero, G., A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, F. Castillo-González, L. Córdova-Téllez, y H. Vaquera-Huerta. (2005). Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30. pp. 284-290.

Lörinczy, D. (2004). The Nature of Biological Systems as Revealed by Thermal Methods. Netherlands. NestecKluwerAcademicPublishers. pp. 69–98.

Luh, B. (1980). Rice: Production and utilization. The AVI Publication Company, Inc. Westport, Connecticut.

Luque, Guillen, M. (2013). Estructura y propiedades de las proteínas. p.p 23.

Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., Gao, Q., y Yu, S. (2008). Effect of ultrasound treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. *Starch (Stärke)*, 60. pp. 646–653.

Macias, A.K. (2013). Propiedades del comportamiento de hidrocoloides en harina nativa y extrusionada de trigo.

McDonough, F.E. Sarwar, G, Steinke, F, H, Slump, P, Garcia, S y Boisen, S. (1990) A collaborative study of methods of protein evaluation: in vitro assay for true digestibility: collaborative study. *Journal of AOAC International*. pp. 801-805

McDonald, (1986) *Nutrition Animal*. Tercera edición. Editorial Acribia. Zaragoza España. pp. 73.

Mahsa. Majzoobi, A. Farahnaky, G. Mesbahi. (2015). Effects of Sonication on Physical Properties of Native and Cross-Linked Wheat Starches: Physical Properties of Sonicated Native and Cross-Linked Starches. *Journal of Texture Studies*. pp. 1-8.

Mahsa. Majzoobi, Sara Hedayati, Asgar Farahnaky. (2015). Functional properties of microporous wheat starch produced by α -amylase and sonication. *Food Bioscience* 11. pp. 79–84.

Mabon, T. J. (1993). Color measurement of food. *Cereal Foods World* 38(1) . pp.21-25.

Malca. S; Lucas. O; Arbaza. T; Carcelen. F; y San Martin. F; (2006). Comparación de dos técnicas para determinar la digestibilidad proteica de insumos y alimentos para caninos. pp. 96-100.

Manelius, R., Bertoft, E. (1996). The effect of Ca²⁺ ions on the α -amylolysis of granular starches from oats and waxy-maize. *J. Cereal Sci.* 24, . pp.139–150.

Mason, T. (1997). Ultrasound in synthetic organic chemistry. *Chemical Society Reviews* (26). pp. 443-451.

Mataix, Jose. (2009). *Nutrición y Alimentación Humana*. Edición Océano. pp. 106-109.

Mcclements, D.J. (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Sci. Technol.* 6. (9). pp. 293 – 299.

McPherson, A. E., & Jane, J. (1999). Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. *Carbohydrate Polymers*, 40. pp. 57–70.

Morales Laura Elizabeth -Martínez, Luis Arturo Bello-Pérez, Mirna María Sánchez-Rivera, Elsa Ventura-Zapata, Antonio Ruperto Jiménez-Aparicio. (2014). morphometric, physicochemical, thermal, and rheological properties of rice (*oryza sativa* l.) cultivars indica \times japonica. *Food and Nutrition Sciences*. pp. 271-279.

Morel, M.H, Dehlon, P., Autran, J.C., Leygue, J.P., BarL'Helgouac'h, C. (2000). Effects of temperature, sonication time, and power settings on size distribution and extractability of total wheat flour proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography, *Cereal Chemistry* 77. pp. 685-691.

Morilla A., Olvera-Novoa, y R. Civera-Cerecedo, (Eds.), (2000). Avances en Nutrición Acuícola V (Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Mérida, Yucatán. pp.19-22 Noviembre,

Moulton .K.J. Wang L.C. (1982).A Pilot-Plant Study of Continuous Ultrasonic Extraction of Soybean Protein.Journal of Food Science.Volume 47, Issue 4. pp.1127–1129.

Noisuwan, A., J. Bronlund, B. Wilkinson, and Y. Hemar.(2008). Effect of milk protein products on the rheological and thermal (DSC) properties of normal rice starch and waxy rice starch.FoodHydrocolloid. 22. pp. 174-183.

Ojeda, A.; Frías, A.; González, R.; Linares, Z. y Pizzani, P. (2010). Contenido de taninos, fósforo fítico y actividad de fitasas en el grano de 12 híbridos de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) (Moench)). Arch LatinoamNutr, 60. pp. 93-98.

Othon, S. (1996). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Edit. Limusa México, D.F. México. pp. 767.

Park, J.; Kim, S. y Kim, K. (2001). Effect of milling ratio on sensory properties ofcooked 78(2). pp. 151-156.

Paci, C. (1953).Use of ultrasound to sterilize milk.Ed. Lait. (33). pp. 610 – 615.

Perusko, M. Hanish, Velickovic, T. y Vucinic, D. (2015). Macromolecular crowding conditions enhance glycation and oxidation of whey proteins in ultrasound-induced Maillard reaction. Food. Chemistry. Volume 177. pp. 248–257.

Pincioli, M. (2010). Proteínas de arroz propiedades estructurales y funcionales. Universidad Nacional De La Plata. pp. 4-40.

Pineda P.; Coral D.; Arciniegas M.; Rorales A. & Rodríguez M., (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: Estudio por Calorimetría Diferencial de Barrido, Ingeniería y Ciencia, Volumen 6. pp. 132, 134.

Porras Martín R. -Godínez, Ruth Pedroza-Islas, Guadalupe Franco-Rodríguez, Eduardo San Martín-Martínez. (2015). Efecto del tratamiento térmico en la humectación de películas comestibles de proteína aislada de suero de leche y goma de mezquite (prosopisspp.). Agrociencia 49: pp. 1-13.

Porras. Martín R. Godínez, Ruth Pedroza-Islas, Guadalupe Franco-Rodríguez, Eduardo San Martín-Martínez (2015). Efecto del tratamiento térmico en la humectación de películas comestibles de proteína aislada de suero de leche y goma de mezquite (prosopisspp.). revista Agrociencia, pp. 1-15.

Postema M, van Wamel A, Lancée CT, de Jong N. (2004). Ultrasound-induced encapsulated microbubble phenomena. Ultrasound. Med Biol. Jun; 30 (6): pp. 827-40.

Postema, M. Wamel, A. Lancee, C. y Jong, N. (2004). Ultrasound Med. J. Biol. (30). pp. 827-840.

Povey, M. y McClement, D. (1998). Ultrasound in Food Processing Part I. Introduction and experimental methods en; J. Food Eng. Vol. (8). pp. 217-245.

Price, G.J. (1990). The use of ultrasound for the controlled degradation of polymer solutions. In Advances in Sonochemistry; Mason, T. J., Ed.; Jai Press: U.K. (1). London.

Priego, F. Luque M. (2006). Ultrasound assisted digestion: A useful alternative in sample preparation. Departamento de Química. pp. 306-307.

Primo, E. A. Casas, S. Barber and B. C. Barber, (1962).“Factores de Calidad Del Arroz. VI. Influencia de las Proteínas Sobre la Calidad de Cocción. Proteínas en la Capa Externa,” Revista de Agroquímicos Tecnología de Alimentos, Vol. 2, No. 1. pp. 135.

Quintero Castaño Victor y Lucas Aguirre Juan Carlos. (2012).Determinación de las propiedades térmicas y de la composición de la harina de chachafruto.

Ramírez, Q.F. (2010.) Los cereales. Universidad de Antioquia. Colombia pp. 1-19.

Raso, J. Sala, F. Pagan, R. y Condón, S. (1998).Inactivation of Bacillus subtilis spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment. Journal of Applied Microbiology (85). pp. 849-854.

Raviyan, P., Z. Zhang y H. Feng, (2005). Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation, Journal of Food Engineering: 70 (2). pp.189–196.

Reque D. J.(2007). Estudio de Prefactibilidad para la Fabricación de Harina de Arroz y su Utilización en Panificación.

Rosales J, Tang T, (1996) Composición Química y digestibilidad de insumos alimenticios de la zona de ucal. Folia Amazonica.Vol 8.(2). Perú. p.p 13-27.

Sala, F. Raso, J. Pagan, R. y Condón, S. (1998). Influence of temperature and pressure on the lethality of ultrasound. Applied and EnvironmentalMicrobiology (64). pp. 465-471.

Salinas Y.; Pérez P.; Castillo J. & Álvarez L.,(2003).Relación de amilosa y amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla, Sociedad Mexicana de Fitopatogenética, Vol. 26.

Sandhu, K.S. y Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food. Chem.* 101. pp. 1499–1507.

Sandoval, A. A; Rodríguez S. E.; y Fernández Q. A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. *DYNA* 72(146). Colombia. pp. 45 - 53.

Sanchez-Ruiz, J.M. (1.995). *Subcellular Biochemistry*, vol. 24 . Protein: structure, Function and Engineering (Biswas, B,B,y Roy, S., Eds). Plenum press. New York. pp. 133-176.

Sasaki, T., Yasui, T., & Matsuki, J. (2000). Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of starches from waxy and non-waxy wheat and their F1 seeds. *Cereal Chemistry*. 77. pp.58–63.

Sciarini L., D-Ribota, P., Leòn, A., Pèrez, G. (2008). Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food Bioprocess Technol.* Vol 3 (4), pp. 577-585.

Seetharaman, K., Tziotis, A., Borrás, F., White, P. J., Ferrer, M., Robutti, J. (2001). Thermal and functional characterization of starch from Argentinean corn. *Cereal Chemistry*, 78. pp. 379–386.

Shewry P R, N G Halford, A S Tatham (1992) High molecular weight subunits of wheat glutenin. *J. Cer. Sci.* 15. pp.105-120.

Shills, M.E., Olson, J.A., Shike, M. y Ross, A.C. *Nutrición en Salud y Enfermedad*. 9aed. Edit. Mc Graw Hill. (2002). México, D.F. pp. 13-56.

Sierra, M; Palafox, A; Becerra, EN; Córdova, H; Espinosa, A; Rodríguez, FA. (2006). Comportamiento de híbridos de maíz con alta calidad de proteína, por su rendimiento y tolerancia al “Achaparramiento”. *Agronomía Mesoamericana* 18(1). pp.27-35.

Stumpf, P. Green, D. y Smith, F. (1945). Ultrasonic disintegration s a method of extracting bacterial enzymes. *Journal Biology Chemistry*. pp. 487-493.

Suarez Lopez, M. M. kizlansky A. Lopez L.B. (2006). Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición Hospitalaria*. vol 21. Universidad de Buenos Aires Argentina. pp. 47-51.

Sujka, m. and Jamroz, J. (2013). Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour. *Food Hydrocoll*.31. pp.413–419.

Sulman, M. Semagina, N. y Ankudinova, T. (2001). Ultrasonic extraction of biologically active compounds from the vegetable raw material. *Food Chemistry* (4). pp. 342-345.

Suskind, R. (1985). *Tratado de nutrición en pediatría*. Edición Salud. pp. 245-249.

Suslick, K. (1989). The chemical effects of ultrasound. *Scientific American* (4).pp.80-86.

Tablante, J. (1989). Elaboración de un producto con alto contenido de proteína, a partir de harina de arroz, mediante la hidrólisis enzimática parcial del gránulo de almidón. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. Escuela de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Estado Aragua. Venezuela.

Techeira, Nora.S. (2006). Elaboración y caracterización de harina obtenidas a partir de granos de arroz entero de origen comercial. Universidad central de Venezuela. pp. 49-82.

Tester, R. y Morrison, W. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. Waxy rice starches. *Cereal Chemistry* 67(1). Pp 558-563.

Tribess, T. B.; Hernández - Uribe, J. P.; Méndez-Montealvo, M. G.; Menezes, E. W.; Bello-Pérez, L. A.; y Tadini, C. C. 2009. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *LWT – FoodSci. Techn.* 42(5). pp. 1022 - 1025.

Umaña Jairo, Carolina Álvarez, Seneida M. Lopera, y Cecilia Gallardo. (2012). Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación De alimentos libres de gluten. Grupo de Estudios de Estabilidad de Medicamentos, cosméticos y alimentos Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. pp. 33-46.

Usaquen, X. Martínez, M. Aya, H. y González, G. (2006). Ultrasound assisted extraction of polyphenols from red-grape (*Vitisvinifera*) residues. *FoodChemistry* (10). pp. 1315-1324.

Valencia, B. (2009). Evaluación técnica y financiera de la industrialización del Garbanzo usando un proceso de extracción. Ecuador. pp. 24.

Valero, M. Recrosio, N. Saura, D. Muñoz, N. Marti, N. y Lizama, V. (2004). Effect of ultrasound treatments in orange juice processing. *Food Chemistry* (49). pp. 482-489.

Vargas, Oviedo.W. (1991). Fundamentos de Ciencia de los Alimentos. pp. 151-159.

Vazquez. Lopez, L. Arambula Villa Gb. , De la Cruz Lazaro E. y Aparicio Trapala M. A. (2011). Caracterización Física y Química de Tres Genotipos de Maíz Sembrados bajo el Efecto de la Densidad. IX congreso de ciencia de los alimentos y V foro de ciencia y tecnología de alimentos. pp. 347-354.

Vercet, A. Burgos, J. y Lopez, P. (2002). Manothermosonication of heat-resistant lipase and protease from *Pseudomonas fluorescens* effect of pH and sonication parameters. *Journal Microbiological* (56). pp. 272-278.

Villamiel, M. y Jong, P. (2000). Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins and native enzymes of milk. *J. Agric. FoodChem.* (48). pp. 472 – 478.

Wibetoe, G. Takuwa, D. y Lund, W. (1999). Sawula, G. fresenius. *J. Anal. Chem.* (363). pp.46-54.

Wrigley, D. y Llorca, N.G. (1992). Decrease of *Salmonella typhimurium* in skim milk and egg by heat and ultrasonic wave treatment. *J. Food Prot.* (55). pp. 678 – 680.

Wu, Y., Du, X., Ge, H., & Lv, Z. (2011). Preparation of microporous starch by gluco amylase and ultrasound. *Starch.(Stärke)*, 63. pp. 217–225.

Zaidul, I. S.; Yamauchi, H.; Matsuura-Endo, C.; Takigawa, S.; y Noda, T. (2008). Thermal analysis of mixtures of wheat flour and potato starches. *Food Hydroc.* 22(4). pp. 499 - 504.

Zhang, P. Y.; Whistler, R. L.; BeMiller, J. N.; y Hamaker, B. R. (2004). Banana starch: production, physico-chemical properties, and digestibility -a review. *Carboh. Pol.* 59. pp. 443 - 458.

Zhu, K. Zhou, H. y Feng, H. (2006). Proteins Extracted from Defatted Wheat Germ: Nutritional and Structural Properties. *Cereal Chem* 83(1). pp. 69–75.

ANEXOS

Anexo A - Análisis de digestibilidad de proteína



NUTRITION QUALITY LABORATORY
CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL
 Km 17, Recta Cali- Palmira
 Teléfono: 4450000, ext 3675 / 3547



ANÁLISIS DE DIGESTIBILIDAD DE PROTEÍNA

Fecha de Recepción	Fecha de Análisis	Fecha de Informe
Septiembre 12 de 2013	Noviembre 22 de 2013	Diciembre 2 de 2013

Detalles de Muestras

Nombre del Cliente	Nidia Yazmin Luna
Institución	Universidad de Pamplona
Tipo y número de muestras	14 muestras (Arroz y Trigo)

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

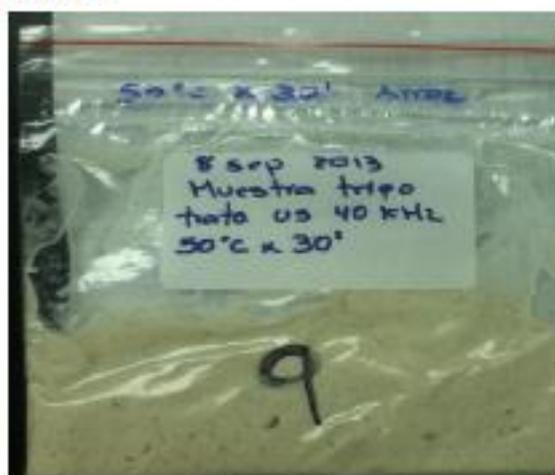
Muestra	Identificación Laboratorio	Digestibilidad Proteína (%)	Promedio (%)	DE	CV (%)
Arroz 40°C/30 min	M5513-1	81.90	82.14	0.22	0.27
		82.19			
		82.33			
Arroz 50°C/30 min (*)	M5513-2	84.16	84.16	0.09	0.11
		84.07			
		84.25			
Arroz 60°C/30 min	M5513-3	81.35	81.35	0.13	0.16
		81.23			
		81.48			
Arroz 40°C/15 min	M5513-4	82.15	82.00	0.13	0.16
		81.90			
		81.95			
Arroz 50°C/15 min	M5513-5	81.01	81.27	0.74	0.91
		82.11			
		80.70			
Arroz 60°C/15 min	M5513-6	81.71	81.51	0.19	0.23
		81.46			
		81.35			
Arroz Muestra Control	M5513-7	80.45	81.29	0.74	0.91
		81.86			
		81.55			
Trigo 40°C/30 min	M5513-8	84.61	84.78	0.21	0.24
		84.72			
		85.01			
Trigo 50°C/30 min (*)	M5513-9	81.01	81.11	0.42	0.51
		81.57			
		80.76			
Trigo 60°C/30 min	M5513-10	84.50	85.05	0.56	0.66
		85.01			
		85.62			

Trigo 40°C/15 min	M5513-11	84.92 84.97 84.07	84.65	0.51	0.60
Trigo 50°C/15 min	M5513-12	85.82 86.04 85.91	85.93	0.11	0.13
Trigo 60°C/15 min	M5513-13	84.45 85.48 85.19	85.04	0.53	0.63
Trigo Muestra Control	M5513-14	85.01 84.97 85.15	85.05	0.10	0.11
Control	Caseína	89.10 89.15 88.05	88.77	0.62	0.70

Metodología basada en McDonough et al. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 73, 4. 1990.

Nota

La metodología empleada utiliza como control la caseína, la cual posee una digestibilidad de proteína del 90%. (*) Posible error en el marcado de las muestras debido a que las muestras 2 y 9 tenían un nombre con marcador diferente al que mostraba al sticker (ver foto). Sin embargo, el nombre que se tomo para el análisis de digestibilidad de proteína y DSC fue el del sticker. Teniendo en cuenta el error de confusión entre las muestras 2 y 9 (inviendo los resultados), se podría decir que las muestras de arroz no son significativamente diferente entre sí, al igual que las muestras de trigo no muestran una diferencia significativa entre ellas.



Moralba *[Signature]*

Moralba Domínguez García, MSc
 Coordinadora del Laboratorio de Calidad Nutricional
m.dominguez@cgiar.org

Anexo B- Análisis de Calorimetría



NUTRITION QUALITY LABORATORY
 CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL
 Km 17, Recta Cali-Palmira
 Teléfono: 4450000, ext 3675 / 3547



Fecha de Recepción	Fecha de Análisis	Fecha de Informe
Septiembre 12 de 2013	Noviembre 22 de 2013	Diciembre 2 de 2013

Detalles de Muestras

Nombre del Cliente: Nidia Yazmin Luna
 Institución: Universidad de Pamplona
 Tipo y número de muestras: 14 muestras (Arroz y Trigo)

RESULTADOS DEL ANALISIS					
No muestra		Inicial	Pico	Final	ΔH (Jul/g)
1	40oC/30 min	66,88	73,21	82,77	8,61
2	50oC/30 min	67,44	70,73	77,52	6,47
3	60oC/30 min	66,63	73,35	82,85	9,25
4	40oC/15 min	66,30	72,89	83,06	9,89
5	50oC/15 min	67,15	73,71	82,85	8,90
6	60oC/15 min	70,82	75,07	86,66	6,91
7	Muestra control	66,92	73,07	83,14	8,21
8	Trigo 40oC/30 min	63,15	68,51	76,10	7,76
9	Trigo 50oC/30 min	69,38	74,79	84,81	8,47
10	Trigo 60oC/30 min	70,13	73,69	79,55	3,15
11	Trigo 40oC/15 min	62,21	68,38	76,36	7,70
12	Trigo 50oC/15 min	64,22	68,42	77,04	7,57
13	Trigo 60oC/15 min	68,67	72,04	78,37	3,91
14	Trigo muestra control	62,09	68,19	75,94	8,74

Moralba Dominguez Garcia, MSc
 Coordinadora del Laboratorio de Calidad Nutricional
m.dominguez@ciat.org

Anexo C- Análisis Estadístico (Anova – Spss Versión 19)

Descriptivos

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
PORCENTAJEDIGESTIBILIDADARROZ	40 KHz-40-15MIN	3	82,0000	,13229	,07638	81,6714	82,3286	81,90	82,15
	40 KHz-40-30MIN	3	82,1400	,21932	,12662	81,5952	82,6848	81,90	82,33
	40 KHz-50-15MIN	3	81,2733	,74097	,42780	79,4327	83,1140	80,70	82,11
	40 KHz-50-30MIN	3	84,1600	,09000	,05196	83,9364	84,3836	84,07	84,25
	40 KHz-60-15MIN	3	81,5067	,18448	,10651	81,0484	81,9649	81,35	81,71
	40 KHz-60-30MIN	3	81,3533	,12503	,07219	81,0427	81,6639	81,23	81,48
	CONTROL	3	81,2867	,74097	,42780	79,4460	83,1273	80,45	81,86
	Total	21	81,9600	1,03827	,22657	81,4874	82,4326	80,45	84,25
PORCENTAJEDIGESTIBILIDADTRIGO	40 KHz-40-15MIN	3	84,65	,506	,292	83,40	85,91	84	85
	40 KHz-40-30MIN	3	84,78	,207	,119	84,27	85,29	85	85
	40 KHz-50-15MIN	3	85,92	,111	,064	85,65	86,20	86	86
	40 KHz-50-30MIN	3	81,11	,415	,239	80,08	82,14	81	82
	40 KHz-60-15MIN	3	85,04	,531	,307	83,72	86,36	84	85
	40 KHz-60-30MIN	3	85,04	,561	,324	83,65	86,44	85	86
	CONTROL	3	85,04	,095	,055	84,81	85,28	85	85
	Total	21	84,51	1,510	,330	83,83	85,20	81	86

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
PORCENTAJEDIGESTIBILIDADARROZ	Inter-grupos	19,117	6	3,186	18,260	,000
	Intra-grupos	2,443	14	,174		
	Total	21,560	20			

PORCENTAJEDIGESTIBILIDAD TRIGO	Inter-grupos	43,434	6	7,239	46,563	,000
	Intra-grupos	2,177	14	,155		
	Total	45,610	20			

Comparaciones múltiples

DMS							
Variable dependiente	(I) TRATAMIENTOS	(J) TRATAMIENTOS	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
PORCENTAJE DIGESTIBILIDAD ARROZ	40 KHz-40-15MIN	40 KHz-40-30MIN	-,14000	,34107	,688	-,8715	,5915
		40 KHz-50-15MIN	,72667	,34107	,051	-,0049	1,4582
		40 KHz-50-30MIN	-2,16000*	,34107	,000	-2,8915	-1,4285
		40 KHz-60-15MIN	,49333	,34107	,170	-,2382	1,2249
		40 KHz-60-30MIN	,64667	,34107	,079	-,0849	1,3782
		CONTROL	,71333	,34107	,055	-,0182	1,4449
	40 KHz-40-30MIN	40 KHz-40-15MIN	,14000	,34107	,688	-,5915	,8715
		40 KHz-50-15MIN	,86667*	,34107	,024	,1351	1,5982
		40 KHz-50-30MIN	-2,02000*	,34107	,000	-2,7515	-1,2885
		40 KHz-60-15MIN	,63333	,34107	,084	-,0982	1,3649
		40 KHz-60-30MIN	,78667*	,34107	,037	,0551	1,5182
		CONTROL	,85333*	,34107	,025	,1218	1,5849
	40 KHz-50-15MIN	40 KHz-40-15MIN	-,72667	,34107	,051	-1,4582	,0049
		40 KHz-40-30MIN	-,86667*	,34107	,024	-1,5982	-,1351
		40 KHz-50-30MIN	-2,88667*	,34107	,000	-3,6182	-2,1551
		40 KHz-60-15MIN	-,23333	,34107	,505	-,9649	,4982
		40 KHz-60-30MIN	-,08000	,34107	,818	-,8115	,6515
		CONTROL	-,01333	,34107	,969	-,7449	,7182
	40 KHz-50-30MIN	40 KHz-40-15MIN	2,16000*	,34107	,000	1,4285	2,8915
		40 KHz-40-30MIN	2,02000*	,34107	,000	1,2885	2,7515
		40 KHz-50-15MIN	2,88667*	,34107	,000	2,1551	3,6182
		40 KHz-60-15MIN	2,65333*	,34107	,000	1,9218	3,3849
		40 KHz-60-30MIN	2,80667*	,34107	,000	2,0751	3,5382
		CONTROL	2,87333*	,34107	,000	2,1418	3,6049
	40 KHz-60-15MIN	40 KHz-40-15MIN	-,49333	,34107	,170	-1,2249	,2382
		40 KHz-40-30MIN	-,63333	,34107	,084	-1,3649	,0982
		40 KHz-50-15MIN	,23333	,34107	,505	-,4982	,9649
		40 KHz-50-30MIN	-2,65333*	,34107	,000	-3,3849	-1,9218
		40 KHz-60-30MIN	,15333	,34107	,660	-,5782	,8849
		CONTROL	,22000	,34107	,529	-,5115	,9515
	40 KHz-60-30MIN	40 KHz-40-15MIN	-,64667	,34107	,079	-1,3782	,0849
		40 KHz-40-30MIN	-,78667*	,34107	,037	-1,5182	-,0551
		40 KHz-50-15MIN	,08000	,34107	,818	-,6515	,8115
		40 KHz-50-30MIN	-2,80667*	,34107	,000	-3,5382	-2,0751
		40 KHz-60-15MIN	-,15333	,34107	,660	-,8849	,5782

		CONTROL	,06667	,34107	,848	-,6649	,7982
	CONTROL	40 KHz-40-15MIN	-,71333	,34107	,055	-1,4449	,0182
		40 KHz-40-30MIN	-,85333*	,34107	,025	-1,5849	-,1218
		40 KHz-50-15MIN	,01333	,34107	,969	-,7182	,7449
		40 KHz-50-30MIN	-2,87333*	,34107	,000	-3,6049	-2,1418
		40 KHz-60-15MIN	-,22000	,34107	,529	-,9515	,5115
		40 KHz-60-30MIN	-,06667	,34107	,848	-,7982	,6649
PORCENTAJED IGESTIBILIDA DTRIGO	40 KHz-40- 15MIN	40 KHz-40-30MIN	-,127	,322	,700	-,82	,56
		40 KHz-50-15MIN	-1,270*	,322	,001	-1,96	-,58
		40 KHz-50-30MIN	3,540*	,322	,000	2,85	4,23
		40 KHz-60-15MIN	-,387	,322	,250	-1,08	,30
		40 KHz-60-30MIN	-,390	,322	,246	-1,08	,30
		CONTROL	-,390	,322	,246	-1,08	,30
	40 KHz-40- 30MIN	40 KHz-40-15MIN	,127	,322	,700	-,56	,82
		40 KHz-50-15MIN	-1,143*	,322	,003	-1,83	-,45
		40 KHz-50-30MIN	3,667*	,322	,000	2,98	4,36
		40 KHz-60-15MIN	-,260	,322	,433	-,95	,43
		40 KHz-60-30MIN	-,263	,322	,427	-,95	,43
		CONTROL	-,263	,322	,427	-,95	,43
	40 KHz-50- 15MIN	40 KHz-40-15MIN	1,270*	,322	,001	,58	1,96
		40 KHz-40-30MIN	1,143*	,322	,003	,45	1,83
		40 KHz-50-30MIN	4,810*	,322	,000	4,12	5,50
		40 KHz-60-15MIN	,883*	,322	,016	,19	1,57
		40 KHz-60-30MIN	,880*	,322	,016	,19	1,57
		CONTROL	,880*	,322	,016	,19	1,57
	40 KHz-50- 30MIN	40 KHz-40-15MIN	-3,540*	,322	,000	-4,23	-2,85
		40 KHz-40-30MIN	-3,667*	,322	,000	-4,36	-2,98
		40 KHz-50-15MIN	-4,810*	,322	,000	-5,50	-4,12
		40 KHz-60-15MIN	-3,927*	,322	,000	-4,62	-3,24
		40 KHz-60-30MIN	-3,930*	,322	,000	-4,62	-3,24
		CONTROL	-3,930*	,322	,000	-4,62	-3,24
	40 KHz-60- 15MIN	40 KHz-40-15MIN	,387	,322	,250	-,30	1,08
		40 KHz-40-30MIN	,260	,322	,433	-,43	,95
		40 KHz-50-15MIN	-,883*	,322	,016	-1,57	-,19
		40 KHz-50-30MIN	3,927*	,322	,000	3,24	4,62
		40 KHz-60-30MIN	-,003	,322	,992	-,69	,69
		CONTROL	-,003	,322	,992	-,69	,69
40 KHz-60- 30MIN	40 KHz-40-15MIN	,390	,322	,246	-,30	1,08	
	40 KHz-40-30MIN	,263	,322	,427	-,43	,95	
	40 KHz-50-15MIN	-,880*	,322	,016	-1,57	-,19	
	40 KHz-50-30MIN	3,930*	,322	,000	3,24	4,62	
	40 KHz-60-15MIN	,003	,322	,992	-,69	,69	
	CONTROL	,000	,322	1,000	-,69	,69	

	CONTROL	40 KHz-40-15MIN	,390	,322	,246	-,30	1,08
		40 KHz-40-30MIN	,263	,322	,427	-,43	,95
		40 KHz-50-15MIN	-,880*	,322	,016	-1,57	-,19
		40 KHz-50-30MIN	3,930*	,322	,000	3,24	4,62
		40 KHz-60-15MIN	,003	,322	,992	-,69	,69
		40 KHz-60-30MIN	,000	,322	1,000	-,69	,69
*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.							

Anexo D. Análisis fisicoquímicos de proteína en harina de trigo y harina de arroz



La Academia al servicio de la Vida

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
DIRECCION ADMINISTRATIVA DE LABORATORIOS
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y DIAGNOSTICO

Solicitante: Nidia Yazmin Luna G. Teléfono: 3132827182 Ciudad: Pamplona Objeto del Servicio: Análisis Fisicoquímico de 7 muestra de harinado de trigo tratadas Muestra tomada por: El Solicitante Fecha Recepción muestras: 14-02-2012 Fecha Entrega Resultados: 06-03-2012 Código interno: ALO859- ALO860- ALO861- ALO862- ALO863- ALO864- ALO865

RESULTADOS FISICOQUIMICOS

MUESTRAS-TRIGO	% NITROGENO	% PROTEINA
1	1.54	8.77
MUESTRA CONTROL	0.86	4.90

Analista Químico:

felanda Pico Paz

Asesor Científico:



Universidad de Pamplona - Ciudad Universitaria - Panajiá (Norte de Santander) - Colombia
Tels: (7) 566300 - 566304 - 566305 Fax: 5662750 - www.unpamplona.edu.co





La Academia al servicio de la Vida

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
DIRECCION ADMINISTRATIVA DE LABORATORIOS
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y DIAGNOSTICO

Solicitante: Nidia Yezmin Luna G. Teléfono: 3132827182 Ciudad: Pamplona
Objeto del Servicio: Análisis Físicoquímico de 7 muestra de harina arroz tratadas
Muestra tomada por: El Solicitante
Fecha Recepción muestras: 14-02-2012
Fecha Entrega Resultados: 06-03-2012
Código interno: AL0866- AL0867- AL0868- AL0869- AL0870- AL0871- AL0872

RESULTADOS FISICOQUIMICOS

MUESTRAS - ARROZ	% NITROGENO	% PROTEINA
MUESTRA CONTROL	1.55	8.83

Analista Químico: *Fabian Ruiz Aguirre*

Asesor Científico: *[Signature]*



Universidad de Pamplona - Ciudad Universitaria - Pamplona (París de Santander) - Colombia
Tels: (7) 966303 - 966304 - 966305 Fax: 9662750 - www.unpamplona.edu.co

