

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA.

Facultad de Ciencias y Humanidades.

DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE  
PANIFICACIÓN APTO PARA SER CONSUMIDO  
POR PERSONAS CON ESPRUE CELIACO

Trabajo de graduación presentado por María Andrea  
Specher Sierra

Guatemala, 2005



DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE  
PANIFICACIÓN APTO PARA SER CONSUMIDO  
POR PERSONAS CON ESPRUE CELIACO

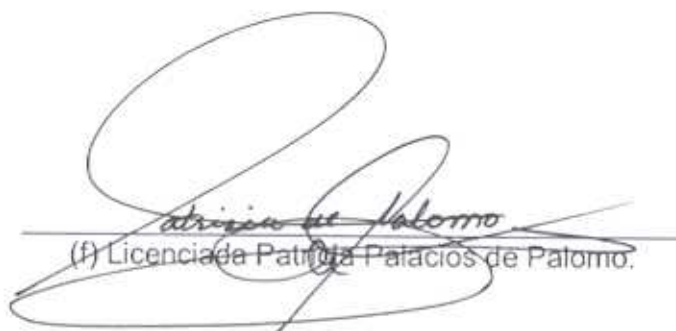
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA.  
Facultad de Ciencias y Humanidades.  
Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Alimentos.

DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE  
PANIFICACIÓN APTO PARA SER CONSUMIDO  
POR PERSONAS CON ESPRUE CELIACO

Trabajo de graduación presentado por María Andrea Specher Sierra  
para optar el título de Magíster in Scientiis en Ciencia y Tecnología  
de alimentos.

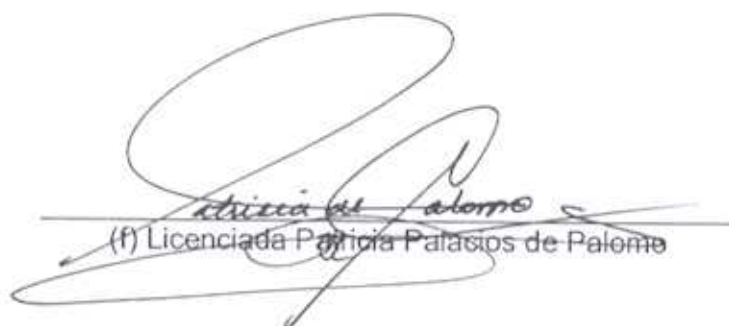
Guatemala, 2005

Vo.Bo.:

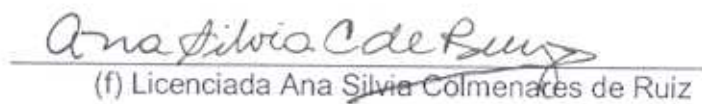


*Patricia de Palomo*  
(f) Licenciada Patricia Palacios de Palomo.

Tribunal



*Patricia de Palomo*  
(f) Licenciada Patricia Palacios de Palomo



*Ana Silvia Colmenares de Ruiz*  
(f) Licenciada Ana Silvia Colmenares de Ruiz



*Ricardo Bressani*  
(f) Dr. Ricardo Bressani

Fecha de aprobación: 9 de diciembre del 2005

# DEDICATORIA

A Dios

Por ser mi guía incondicional, por estar siempre a mi lado y por nunca abandonarme en los momentos más difíciles. Por ser mi guía espiritual.

A la Virgencita

Por ser mi luz que me inspira a seguir adelante.

A mis papás

Por todo su amor y su constante apoyo durante todo el camino de mi vida.

A Fernando

Por su dulce compañía, amor y paciencia.

A la Lda. Palomo

Por su ayuda, su paciencia y su gran apoyo durante el curso de la maestría y la elaboración del trabajo de graduación

A la Lda. Colmenares y al Dr. Bressani

Por compartir todos sus conocimientos conmigo y por su gran ayuda en este trabajo.

A la Universidad del Valle de Guatemala

Por brindarme todos esos conocimientos para la formación de una nueva profesional.

A todos agradezco enormemente por brindarme su tiempo y dedicación.

# ÍNDICE

Página

<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>x</b>
<b>Capítulos</b>	
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES.....</b>	<b>2</b>
A. Esprue celiaco .....	2
1. Definición .....	2
2. Complicaciones .....	2
3. Incidencia .....	3
4. Características .....	3
5. Otro tipo de esprue ( tropical) .....	4
6. Control de la dieta en pacientes con esprue celiaco .....	4
B. Producción del producto .....	5
1. Variables en ingredientes y procesos.....	5
a. Panificación .....	5
b. Almidones en el trigo .....	7
c. Conservación del pan .....	7
C. Alimentos funcionales.....	7
1. Alimentos fuera de gluten.....	8
2. Aditivos en productos sin gluten.....	9
a. Almidones modificados.....	9
b. Levadura .....	10
c. Enzimas .....	11
d. Ácido Ascórbico .....	11
e. Emulsionantes .....	12
f. Mejorantes en panificación .....	14
g. Fibra dietética .....	14
3. Importancia del maíz .....	15
4. Otros tipos de harinas utilizados mundialmente en la Panificación (amaranto).....	17
<b>III. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>IV. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
A. Objetivos generales.....	21
B. Objetivos específicos.....	21

<b>V. HIPÓTESIS .....</b>	<b>22</b>
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
A. Materiales.....	23
B. Métodos.....	24
1. Proceso de panificación utilizado.....	24
2. Diagrama de flujo .....	25
3. Métodos físicos.....	26
4. Métodos químicos .....	26
5. Características funcionales .....	26
6. Evaluación sensorial .....	26
7. Estudio en ratas .....	27
<b>VII. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
<b>XI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>35</b>
<b>X. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>XI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>37</b>
<b>XII. ANEXOS.....</b>	<b>40</b>
A. Métodos para análisis físicos .....	41
B. Métodos para análisis químicos .....	42
C. Evaluación sensorial .....	43
D. Hoja de recolección de datos para estudios en ratas .....	44
E. Resultados del análisis de NPR y digestibilidad .....	45



# RESUMEN

El objetivo del estudio fue formular un producto de panificación con mezcla de harinas de alto valor proteico para obtener un perfil nutricional mejor que los productos elaborados a base de trigo. Este producto, además de ser de mejor calidad nutricional, va dirigido a personas con intolerancia al gluten.

Se observa un crecimiento de la prevalencia de esta enfermedad, es necesario desarrollar productos alimenticios que cubran las necesidades de este grupo de población (productos funcionales), sin que les hagan daño. Además, actualmente en el mercado existen pocos productos de panadería, comúnmente incluidos en el patrón alimentario de esta población.

Se desarrolló un nuevo producto de panificación bastante común en la dieta de los guatemaltecos, el cual está dirigido a personas con intolerancia al gluten. Se hicieron tres productos los cuales se analizaron por separado. El primer producto que se elaboró fue a base de una mezcla de harina protracta (*Zea maiz*) de maíz con amaranto (*Amaranthus ssp.*). El segundo fue un pan de harina de maíz protracta y el tercero fue el producto control a base de harina de trigo.

En el análisis proximal se determinó que los productos elaborados a base de maíz protracta tenían una mayor cantidad de proteína y de grasa que el control. En lo que respecta al análisis de la calidad de la proteína realizado con un grupo de ratas, se determinó que el producto que mayor calidad proteica presentaba era la mezcla de harina de maíz y amaranto son respecto a un grupo control de caseína. Siguiéndole el pan únicamente de maíz y pobremente el pan de trigo.

El producto desarrollado es ideal para aumentar la ingesta en el consumo de harinas a base de maíz y amaranto en personas con esprue celiaco.; además de ser un producto de mejor calidad nutricional que los productos de panificación hechos a base de harina de trigo.

# I. INTRODUCCIÓN

El gluten se forma durante el proceso de amasado, en el cual se unen las proteínas insolubles que se encuentran en el trigo, como son la gliadina y la glutenina. (Eskin, 1990) En las últimas décadas en Guatemala, ha aumentado el diagnóstico de esprue celiaco, enfermedad en la cual las personas son intolerantes al gluten. (Ligorria 2004)

El esprue celiaco se define como la dificultad o deterioro del intestino delgado debido a la presencia del gluten, en el cual se pierde la capacidad de absorber nutrientes y energéticos. Es una enfermedad que se puede manifestar en cualquier etapa de la vida. Su tratamiento consiste en eliminar completamente todos los alimentos que contengan gluten de la dieta. Entre éstos se encuentran los grupos de cereales como trigo, centeno, cebada, avena y malta, es decir, pan, pastas y productos de panificación elaborados con harina de trigo. (Mahan y Arlin 2001)

Los cereales que sí pueden consumir estas personas, son arroz, maíz y soya. Pero, los productos especiales a base de estas harinas, fuera de gluten, no tienen la misma calidad sensorial que los que están elaborados con harina de trigo. Por lo que sí se desea elaborar un producto funcional sin gluten, al que es necesario agregarle ciertos aditivos que ayudarán a mejorar sus características organolépticas. (Reyes 2002)

Las harinas de arroz, maíz y soya, tienen propiedades donde el almidón es fácilmente digerible, y la ausencia de éstas no afecta a las personas con esprue celiaco. La harina de soya es un componente que ayuda a mejorar las características internas de un producto, proporcionando una estructura estable y regular en el pan. (Morales 1994)

La demanda de este grupo de la sociedad va en aumento y aún no existen personas capacitadas para atenderlos. Debido a la importancia que tiene la elaboración de un producto libre de gluten para estas personas, se desarrolló un producto de panificación apto para ser consumido por pacientes con esprue celiaco. Se llevaron a cabo pruebas físicas y sensoriales con el objeto de escoger un producto adecuado, tomando en cuenta apariencia, sabor y textura, características para que la población a quien está orientado acepte el producto. (Ligorria 2004)

## II. ANTECEDENTES

### A. Esprue celiaco.

**1. Definición.** Según Mahan y Arlin, 2001, la enfermedad celiaca se denomina enteropatía por sensibilidad al gluten, o esprue no tropical, lo cual es causado por una reacción a la gliadina, el componente soluble en alcohol del gluten. Esto daña las vellosidades intestinales, produciendo absorción deficiente de los nutrientes. Esto se debe a la atrofia y aplanamiento de las vellosidades del intestino delgado. Aún se desconoce el mecanismo por el cual la gliadina daña el intestino delgado, pero al parecer intervienen tanto factores genéticos como inmunitarios.

Según Ligorria, 2004, en el presente año, menciona que esta enfermedad se origina por causas de carácter infeccioso, inmunológico, cirugías o patologías de origen cardiovascular o crónicas no transmisibles (diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial, entre otras).

La enfermedad afecta sobre todo la mucosa en las porciones proximales y media del intestino delgado. Se menciona que las células sufren deficiencia de disacaridasas y peptidasas necesarias para la digestión y también de los portadores que se requieren para transportar nutrimentos hacia el torrente sanguíneo. (Mahan y Arlin 2001)

Se cree que existe un mecanismo que consiste en que el paciente no disponga de una peptidasa específica en las mucosas, de forma que no pueda hidrolizar con eficacia el gluten o sus principales péptidos con glutamina en péptidos (dipéptidos o aminoácidos) más pequeños, y en consecuencia estos péptidos tóxicos se acumularán en la mucosa. También se cree otra teoría, donde postulan que el gluten o sus metabolitos puedan iniciar una reacción inmunitaria en la mucosa intestinal. De tal forma que la interacción de los linfocitos T con el epitelio de las criptas puede ser un acontecimiento básico en la patogenia de la lesión intestinal. (Harrison 1998)

El diagnóstico para la enfermedad consiste en biopsia de la mucosa, seguida de una dieta libre de gluten y repetición de la biopsia observar cualquier mejoría en las vellosidades intestinales. Por último, se estimula con gluten y se vuelve a hacer una biopsia en seis semanas. (Ligorria 2004)

**2. Complicaciones.** El pan es uno de los alimentos más habituales por razones económicas y culturales en el paciente con enfermedad celiaca, el cual a menudo come pan. En la medida en que lo consume, se desarrollan alteraciones intestinales de mayor o menor severidad que pueden producir una serie de complicaciones de las cuales la de más relevancia es desarrollar tumores malignos en el intestino. (Sturgess, *et.al* 1991)

Puede haber ciertas complicaciones si no se elimina por completo el gluten de la dieta, como yeyunoileítis ulcerosa crónica (que afecta al yeyuno y el ileon) y manifestaciones extraintestinales. Además aumenta el riesgo de enfermedad maligna, sobre todo linfoma, según se menciona en fisiologías médicas. (Guyton y Hall 1997)

**3. Incidencia.** Según Harrison, 1998, el 70% de los que presentan enfermedad de esprue celiaco, son mujeres. La incidencia en hermanos parece ser mucho mayor que la de la población general y se ha sugerido que la enfermedad podría ser heredada a través de un gen dominante de penetrancia completa. El fenotipo HLS-DR3 se ha encontrado en el 70 al 90% de los celíacos, mientras que su proporción en la población general es del 20 al 25%. Los antígenos de HLA podrían estar unidos a los genes de la respuesta inmunitaria capaces de determinar el reconocimiento inmunológico de determinadas sustancias. Estos factores predispondrían la tolerancia inmunológica de las proteínas de la dieta, como los péptidos del gluten, o a la producción de anticuerpos patógenos antigluten, que podrían ser determinantes en la unión del gluten a las células epiteliales con la consiguiente lesión hística (de los tejidos: edema, vasodilatación e infiltrado de macrófagos).

Ligorría, 2004, en su experiencia profesional como gastroenterólogo, refiere que en Guatemala, alrededor del año 1947, la literatura menciona que una persona por cada 200,000 padecía de esta patología. Pero en el transcurso del tiempo, con la actual tecnología médica de diagnóstico, para el año 2003 el número de personas celíacas ha aumentado hasta una en cien.

**4. Características.** El esprue celiaco se manifiesta por medio de síntomas como: diarreas crónicas, junto con dolores abdominales, sangrado del tracto gastrointestinal, hipovitaminosis, anemia, fallo cardíaco, edema, estreñimiento, flatulencia, evacuaciones de mala calidad, entre otros. (Ligorría 2004). Según Mahan y Arlin, 2001, los síntomas más comunes en los niños de 6 meses a 3 años de edad son la diarrea, deficiencia del crecimiento, vómitos, distensión abdominal y heces de aspecto, olor y cantidad anormales (suelen ser más de 10 por día). Los adultos experimentan pérdida de peso, no obstante mayor apetito, debilidad y fatiga, anemia, osteopatía osteopénica (disminución leve de la masa ósea), entre otros.

Dependiendo de la magnitud de afección del intestino delgado, las personas con esta enfermedad pueden estar relativamente libres de síntomas, o presentar absorción deficiente y desnutrición. La enfermedad se observa cuando un lactante comienza a comer cereales que contienen gliadina, o es posible que no aparezca hasta la edad mediana, cuando a menudo es descubierta por operaciones intestinales, estrés, embarazo o infección viral. (Mahan y Arlin 2001)

Además, se debe considerar que una posible variante del esprue celiaco es el esprue colágeno. En un estudio procedente de 145 pacientes con enfermedad celiaca, el 31% mostró engrosamiento de la membrana intestinal asociado con depósitos de colágeno y el 8% mostró depósitos de colágeno densos, presentando una malabsorción mortal. Esto demuestra que los hallazgos de colágeno indican un pronóstico desfavorable para el paciente. (Arranz y Ferguson 1993)

**5. Otro tipo de esprue ( tropical).** Es un síndrome de causa desconocida que se presenta en zonas tropicales, con excepción de África, al sur del Sahara. Se cree que podría ser la secuela de una diarrea infecciosa aguda, con la contaminación de bacterias en el intestino. El microorganismo intestinal difiere de una región a otra. Al igual que la enfermedad celiaca, se acortan las vellosidades intestinales, pero las alteraciones en las células superficiales son mucho menos graves. La mucosa gástrica se atrofia e inflama con menor secreción de ácido clorhídrico y factor intrínseco. Puede presentarse meses o incluso años después de que el paciente haya vuelto de los trópicos. Aún se desconoce su causa, pero se cree que se debe a una deficiencia nutricional, una infección microbiana transmisible o una toxina elaborado por un microorganismo o que se encontrara en la dieta. (Harrison 1998)

Los síntomas incluyen diarrea, anorexia y distensión abdominal, así como síntomas de deficiencia nutricional, como son ceguera nocturna, glositis (inflamación de la lengua), estomatitis (ulceración de la boca), queilosis (agrietamiento de los labios), palidez y edema. La anemia puede ser consecutiva a deficiencias de hierro, ácido fólico y vitamina B12. También existe alteración de absorción de grasa, xilosa y vitamina B12. (Harrison, 1998)

El tratamiento consiste en reestablecer líquidos, electrolitos y nutrientes. Esta enfermedad suele responder con rapidez a tratamiento de antibióticos y folato. (Guyton y Hall 1997)

**6. Control de la dieta en pacientes con esprue celiaco.** El tratamiento de la enfermedad celiaca consiste en la eliminación completa de alimentos que contengan gluten. La dieta sin gluten excluye todos los cereales, excepto arroz, maíz y soya. La suspensión completa de la gliadina en la dieta crea una mejoría rápida. Durante las primeras semanas de omisión de la gliadina, la dieta se complementa con vitaminas, minerales y proteínas adicionales para remediar deficiencias y resustituir nutrimentos. (Arranz y Ferguson 1993)

En los alimentos se pueden utilizar productos sustitutos elaborados con maíz, papa, arroz, grano de soya, tapioca, arruruz, amaranto, quinoa, mijo y trigo sarraceno. Los pacientes podrán esperar diferencias en textura y sabores de alimentos comunes por el uso de harinas sustitutivas, pero las nuevas recetas habrá que hacerle cambios para que sean aceptables. (Corazza, *et. al* 1992)

Según Mahan y Arlin, 2001 y Ligorria, 2004, la dieta libre de gluten requiere una búsqueda cuidadosa en los ingredientes de las etiquetas de productos de pastelería y alimentos empacados. Consumir poca lactosa es de utilidad para controlar los síntomas ya que, una vez la mucosa intestinal comienza a cicatrizar, la lactasa suele volver a los niveles normales, y desaparece la intolerancia a la lactosa.

Se ha demostrado que el seguimiento estricto de una dieta sin gluten produce una mejoría más constante que la restricción parcial de dicha sustancia. En estudios recientes se ha observado que la avena, cuando se ingiere en cantidades de 50 gramos por día, es inocua en los pacientes con esprue celiaco durante un período de al menos 6 a 12 meses. (Corazza, *et. al* 1992)

Si la enfermedad ha sido grave, se requiere de suplementos de vitaminas y minerales. La anemia se tratará con hierro, folato o vitamina B12. Se recomienda vitamina K cuando ha habido hemorragias. Es esencial restituir electrolitos y líquidos en personas con deshidratación provocada por la diarrea. Es necesario administración de calcio y vitamina D para evitar osteoporosis. Las vitaminas A y E son necesarias para restituir las reservas perdidas por la esteatorrea (presencia de exceso de grasa en las deposiciones). (Torun 1994)

## B. Producción del producto

### 1. Variables en ingredientes y procesos

a. **Panificación.** El pan es un producto que se elabora a partir de harina, agua, sal, levadura y aditivos. A medida que el proceso de panificación ha evolucionado se han agregado ingredientes funcionales para mejorar el proceso de control y la calidad del mismo. La ausencia de muchos aditivos en la panificación, hace que no dé el mismo resultado preparar un pan en casa, que en la industria alimentaria. (Badui 1999)

Los ingredientes para mejorar la calidad del producto, incluyen harina, gluten, malta, grasas (resaltan sabor y evitan dureza), emulgentes ( modifican textura), vitaminas, dextrinas, soya y enzimas. Estos deben de ser fáciles de utilizar, estar preparados y mezclados para cada tipo de pan y proceso de producción. (Egli, *et. al* 2003).

A continuación se presenta un cuadro donde se muestra la composición de harinas utilizadas en la panificación.

Cuadro No. 1:  
Composición de las harinas utilizadas en la panificación

Componente	Composición (%)
Almidón	69
Proteína de gluten	11
Proteína soluble	1
Grasa	1
Azúcares	2.5
Sales minerales	0.5
Humedad	15

(Prera 2000)

Los efectos en el pan incluyen el aumento y la estabilización de la estructura esponjosa, reduciendo la dureza y aumentando la vida de anaquel. Se desea perfeccionar el color y aroma. Los efectos del proceso de producción incluyen la mejora del sistema de control, adaptando la variedad de la harina, controlando la humedad de la masa, perfeccionando la manipulación y mejorando la tolerancia en la preparación. (Eskin 1990)

La capacidad de producción de gas es uno de los parámetros importantes a controlar en las harinas. Estos dependen de los azúcares libres presentes en la harina, que son atacados por la levadura al comienzo de la fermentación de la masa y luego son agotados. La continuidad de la fermentación viene asegurada por la obtención de azúcares fermentables a partir del almidón de la harina. (Eskin 1990)

Al ingresar la masa en el horno, las enzimas se desactivan y se produce una aceleración violenta de las diferentes reacciones implicadas en la fermentación, aumentando la producción de gas, dilatándose y evaporándose el alcohol y agua. Se gelatiniza el almidón, por lo que se vuelve mucho más sensible al ataque enzimático. Las dextrinas no consumidas, van a darle características jugosas a la miga de pan y a determinar la coloración de la corteza. (Desrosier 1994)

Para tener un pan de buena calidad, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: una buena harina, un amasado durante el cual se evitará toda oxidación excesiva y además perjudicial, una primera fermentación adecuada, una cuidadosa división y formato de las piezas, una segunda fermentación con un buen nivel medio y una cocción conveniente con una coloración adecuada. (Reyes 2002)

El concepto de frescura del pan depende del tipo de producto considerado, lo cual difiere de un país a otro. Para unos frescura significa mantener la corteza crujiente, por ejemplo en España o en Francia el pan baguette. Para otros, como en Inglaterra o Alemania los panecillos tipo hamburguesa se aprecian por la flexibilidad y elasticidad de la corteza y de la miga. (Kadan, *et. al.* 2003)

Para los parámetros de frescura, el tiempo actúa en su contra desde la salida del horno, ya que la pérdida parcial de flexibilidad se asocia a un fenómeno llamado retrogradación del almidón. (Kadan, *et. al.* 2003)

Se puede elaborar harina a partir de otros cereales y leguminosas, pero la composición específica del tipo de proteína del trigo es responsable de la estructura del pan. Estas harinas se utilizan generalmente conjunto con harina de trigo, debido a que esta es apta para la formación del gluten. Entre los tipos de harinas se pueden mencionar integrales, de centeno, de soya, de avena, de arroz y de maíz. (Prera 2000). Actualmente con la tecnología tan avanzada, se elaboran almidones modificados, de manera que ayuden a la mezcla para la elaboración del pan, darle características que le brinda el gluten en el trigo, y que así sea apto para el consumo de personas con esprue celiaco. (Di Cagno, *et. al.* 2004)

**b. Almidones en el trigo.** El almidón está formado por largas cadenas construidas por la unión de múltiples moléculas de glucosa. Existen dos tipos de moléculas, las de cadena recta (amilosa) y las de cadena ramificada (amilopectina). Se agrupan estas cadenas formando una hélice, constituidas en los gránulos. Durante la molienda, parte de los gránulos sufren golpes, quedando expuestos a la hidratación masiva, así como el ataque de las amilasas. (Morton 2003)

El almidón del trigo constituye un polvo blanco, brillante, que se caracteriza por ser higroscópico. Es insoluble en la mayoría de disolventes, sobretodo si se encuentran a temperaturas bajas. El poder calórico es de 0.44 Kcal/g. Los granos de almidón no tienen ninguna envoltura, por lo cual se caracterizan por el hinchamiento debido a la posición de los cristales de almidón en el interior del gránulo. (Braverman 1980)

El almidón es un producto coloidal, que por acción del calor o algún reactivo es convertido en azúcares. Este proceso afecta la panificación, debido a que se rompen ciertas estructuras del almidón durante la molienda, por lo que queda libre cierta cantidad de carbohidratos los cuales se convierten en azúcares provocando el proceso de fermentación. (Desrosier 1994)

**c. Conservación del pan.** Los productos de panadería se deben mantener frescos varios días, o semanas. Requieren de un tratamiento diferente no sólo de la incorporación de aditivos especiales, sino también cambios en el proceso de elaboración. Durante un tiempo prolongado, estos productos tienden a experimentar cambios físico-químicos que modifican su calidad. Estos cambios afectan al producto en su composición química, contenido de agua, acidez, temperatura ambiente, etc. (Morton 2003)

### **C. Alimentos funcionales**

Actualmente existen diversas definiciones de los productos funcionales, pero en sí se refiere a los alimentos que abarcan productos potencialmente saludables, incluyendo cualquier alimento modificado o ingrediente alimenticio que pueda proveer un beneficio a la salud más allá de los nutrientes tradicionales que pueda contener. En la cultura occidental se consideran productos nuevos, los cuales son utilizados para mantener una mejor salud. (Prera 2000)

Los alimentos funcionales son un concepto nuevo, significan un tratamiento o prevención de síntomas y enfermedades. Estos alimentos a su vez llevan un mensaje a consumir alimentos saludables y a comer adecuadamente, en lugar de evitar o reducir. Algo que es muy importante de tomar en cuenta es que la imagen de estos alimentos, genera que se cree un sentimiento de estar comiendo alimentos no reales o de mal sabor, por lo que es necesario llevar a cabo pruebas sensoriales para determinar un producto óptimo. (Prera 2000)

La tecnología alimentaria fue la encargada de llevar a los alimentos tradicionales nutrientes nuevos, o crear alimentos que posean un perfil nutricional completo. El alimento funcional es un ahorro, ya que todo lo que se invierte hoy en alimentos, no se gastará mañana en medicamentos. Estos son una obligación de la alimentación para los próximos 50 años y se deben enfocar para las necesidades de los consumidores. (Reyes 2002)

Los avances tecnológicos, impulsan el crecimiento y desarrollo de nuevos alimentos funcionales. A la vez, el crecimiento de poblaciones con patologías determinadas, obliga al consumo de muchos de estos productos. Es una oportunidad de proveer productos alimenticios a las personas encargadas de producirlos para que concienticen al consumidor de la importancia de la salud. (De Gómez del Río 2003)

**1. Alimentos fuera de gluten.** El gluten es un compuesto conformado por las proteínas que se encuentran en el trigo, centeno, cebada y avena, como anteriormente se había definido. Este compuesto es un factor determinante para la calidad panadera de la harina, ya que se forma durante el amasado al unirse entre sí la gliadina y glutenina creando una red que le da la textura suave y porosa al pan. (Badui 1999)

Según Dike, un estudiante de medicina holandés, en 1950, en su trabajo de tesis (Figueroa, *et al.* 2003) demostró que en el gluten existen unas proteínas contenidas en los cereales que son responsables de las alteraciones del intestino delgado en pacientes con esprue celiaco. Posteriormente se averiguó que la parte tóxica del gluten es la fracción 9 de la gliadina. (Figueroa, *et al.* 2003)

Para elaborar productos de panificación sin harina de trigo, se deben tomar en cuenta varios factores. De primero es necesario establecer el producto que se desea, el proceso elegido para su manufactura, la calidad del trigo, el tipo y la calidad de la harina que sustituirá a la de trigo, el uso de aditivos especiales y la aceptabilidad del producto por la población a la que está dirigido. (Reyes 2002)

Entre los productos de trigo, los panes fermentados son los más afectados por las mencionadas sustituciones. Las masas elaboradas con harinas compuestas reducen la cohesividad y la propiedad de retener el bióxido de carbono, producido en la masa, dando como resultado productos menos apetecibles, panes muy densos y pesados. La miga de estos productos pierde cohesividad y tienden a ser quebradizos. La gomosidad durante la masticación suele ser otro problema. Además existen cambios de sabor y de coloración lo cual puede ser rechazado por los consumidores y pueden ser reducidos con el uso de aditivos como antioxidantes (ácido ascórbico), surfactantes o grasas; y mediante la modificación en las técnicas de producción de las masas, como adicionar agua en las formulaciones debido al incremento de la absorción de agua, o la variación de los niveles de levadura reduciendo o aumentando los tiempos de amasado y fermentación. En el siguiente cuadro se observan los niveles en que se puede sustituir la harina de trigo, aunque poseen sus propias

limitaciones en cuanto a color, sabor, palatabilidad, procesamiento y manejo de la masa. (Reyes 2002)

Cuadro No. 2:  
Niveles en que se puede sustituir la harina de trigo

Tipo de harina	Rango de sustitución (%)
Almidones modificados	20 – 40
Arroz	10 – 30
Raíces	5 – 20
De alto valor proteico	3 – 15

(Morales 1994)

En la Universidad del Valle de Guatemala, un grupo de estudiantes elaboró un producto sin gluten, donde se pudo observar que fue posible mejorar la masa utilizando una mezcla de harinas y almidones modificados, ya que estos permiten retener CO<sub>2</sub> formado durante la fermentación. Además de agregarle un agente leudante (levadura), el cual no les dio un volumen considerable, pero sí una textura blanda, semi porosa y aceptable. Ellos sugieren que para la elaboración de productos de panificación sin gluten, se deben considerar efectos que mejoran la masa y de la blandura del producto final que se logra con la incorporación de agentes emulsificantes. (Figueroa, *et al.* 2003)

2. **Aditivos en productos sin gluten.** Para llevar a cabo el proceso de panificación con harina sin gluten se puede elaborar a partir de harina de arroz, maíz o soya, aunque los resultados son mucho mejores con almidón de trigo. Al adicionar únicamente la fécula de almidón, no contribuye a la panificación, por lo que es necesario agregar productos con grasa, azúcar, gomas (espesante), ácido ascórbico y caseinato sódico, con los cuales se retiene el gas, obteniendo un pan suave para comer. (Escobar 1998)

Para poder utilizar un aditivo en un alimento, las normas COGUANOR exigen que tenga alguna de las siguientes funciones: conservar la calidad nutricional, proporcionar ingredientes o constituyentes, aumentar la calidad de conservación o la estabilidad o proporcionar ayuda en la fabricación, elaboración, empaquetado, transporte o almacenamiento. (Escobar 1998)

a. **Almidones modificados.** El principal constituyente de todos los cereales es el almidón, el cual está formado por dos polisacáridos: amilosa (porción lineal) y amilopectina (porción ramificada). Los almidones naturales son insolubles en agua fría. (Canjura 1987)

El almidón puede ser modificado parcialmente ya sea por reacción enzimática, química o generalmente por acción de la temperatura en presencia de humedad. Cuando los gránulos son sometidos a agua, la absorben y se hinchan, siendo un proceso reversible. Cuando son sometidos en agua caliente

se hinchan los gránulos, hasta romperse, si se calienta mucho el agua. Este fenómeno es denominado gelatinización, ya que el almidón se convierte en gel. El hinchamiento inicial del gránulo ocurre a una humedad del 33%, pero la gelatinización completa ocurre a más del 50%. (Badui 1999)

Los almidones purificados permiten la mayor sustitución, pero tienen la desventaja de que diluyen la calidad nutricional debido a que reducen el contenido de proteínas. Los productos gelatinizados y las harinas con alto valor proteínico, requieren un aumento en el uso de agua, en productos como la soya, los productos gelatinizados, incrementa lo pegajoso dando problemas en el manejo de la masa por lo que su uso debe ser en forma limitada. (Reyes 2002)

**b. Levadura.** La levadura es un compuesto utilizado ampliamente por los panaderos. Se conoce por su función de fermentación, conservación e influencia en la fuerza y equilibrio de las masas. Según el código alimentario (Codex), la levadura prensada húmeda es el producto obtenido por proliferación de *Saccharomices cerevisiae* de fermentación alta, en medios azucarados adecuados. Este código establece las siguientes características de las levaduras: poseen un color blanco, sabor casi insípido, al mantenerse en una cámara a 30 °C durante un mínimo de tres días no se descompone ni desprende malos olores. (Figuerola, *et al.* 2003) También posee actividad fermentativa, donde es capaz de fermentar los azúcares presentes en la masa en un tiempo de 3 a 4 horas. No posee una humedad superior al 75%. Se puede presentar en polvo, granulada o comprimida. (Desrosier 1994)

También existe la levadura seca, la cual se obtiene de la deshidratación de éstas. Poseen las siguientes características: humedad de no más del 8%, cenizas sulfúricas por debajo de 9%, materia grasa no superior a 4%, proteína total no será inferior a 50% y estará exenta de almidón, azucarado y sustancias extrañas. (Basman, *et al.* 2003)

La levadura en la panadería tiene dos formas de vida según el medio en el que se encuentre. Puede vivir en ausencia de aire (anaerobio) o en presencia de éste (aerobio). Cuando una levadura posee un poco de oxígeno, utiliza los azúcares de la masa para producir la energía necesaria para mantenerse viva, provocando el proceso denominado fermentación. Este proceso consiste en un proceso donde los azúcares son transformados en alcohol y gas (bióxido de carbono). En cambio, cuando la levadura se encuentra en presencia de oxígeno se produce la oxigenación de los azúcares transformándolos en masa celular, agua y energía necesaria para la vida y desarrollo de las levaduras. (Basman, *et al.* 2003)

**c. Enzimas.** Las enzimas son catalizadores orgánicos naturales de diversos procesos bioquímicos implicados en la elaboración del pan. Estas son utilizadas ya que permiten adaptar las harinas a los procesos actuales, altamente mecanizados, independientemente del tipo de panadería; mejoran la regularidad de las fabricaciones, amortiguando las variaciones de las harinas o de las condiciones del proceso; garantizan el desarrollo de una malla de gluten resistentes y que permite retener la abundante y rápida producción de gas que genera la suplementación con amilasas; y se obtienen productos de mayor volumen y finura, más ligeros, conforme a la demanda del consumidor. (Figuerola, *et al.* 2003)

Es muy importante la manipulación de los granos para fabricar harinas, ya que si el grano maduro se moja antes de ser recolectado, se inicia su germinación en la propia espiga. Se inicia un proceso de movilización de las enzimas necesarias para que el embrión pueda disponer de los nutrientes almacenados en la almendra harinosa del grano, llegando a actividades enzimáticas tan elevadas que perjudican tanto a la masa como al producto final. (Di Cagno, *et al.* 2004)

Desde hace un tiempo se suplementan las harinas con alfa-amilasas, pero la cantidad y calidad no resultaba totalmente satisfactoria por lo que se empezó a producirse amilasas fúngicas. Estas se obtienen de la fermentación del hongo *Aspergillus oryzae*. (Di Cagno, *et al.* 2004)

La temperatura es un condicionante del funcionamiento de las enzimas debido a que las amilasas se inactivan al incrementar la temperatura, son proteínas termolábiles. Las amilasas fúngicas se inactivan a temperaturas de 60°C, mientras que las naturales que se encuentran en el trigo lo hacen por encima de 80°C. (Figuerola, *et al.* 2003)

El efecto principal de las amilasas sobre la masa es el aumento de la velocidad de fermentación, facilitada por la mayor producción de gas y por el ligero reblandecimiento de la masa producido por la liberación del agua absorbida por los gránulos de almidón atacados. Si se agrega una dosis excesiva de amilasas las masas se vuelven pegajosas y de difícil manipulación. (Di Cagno, *et al.* 2004)

**d. Ácido ascórbico.** El ácido ascórbico o vitamina C, es un aditivo muy utilizado en la panificación en Europa. Es un polvo blanco ligeramente amarillento, casi inodoro y ácido. Siempre está presente en “mejorantes” comerciales de panificación, aunque no se considera el pan fuente de vitamina C debido a que se destruye durante la cocción. (Braverman 1980)

Se obtiene de la síntesis de derivados de glucosa, los cuales son fermentados por bacterias acéticas, conforme el método desarrollado por Reichstein. En la reglamentación Técnico-sanitaria española dedicada al pan, se establece como límite 20 g de ácido ascórbico por cada 100 kilogramos de harina. Sin embargo, en la reciente directiva europea de aditivos, se puede

utilizar al nivel necesario para el efecto pretendido, lo que se denomina mediante el término *quantum satis*. Por lo que ya no existen límites máximos legislados para el harinero, para el fabricante de aditivos, o para el panadero que desea utilizarlo directamente. (Eskin 1990)

El uso de ácido ascórbico produce los siguientes efectos sobre la masa y el pan: aumenta la tenacidad y la elasticidad de la masa, aumenta la capacidad de absorción de agua de la masa, mejora el volumen de pan y sus características (color de corteza más claro y brillante, miga más blanca y de alveolado más uniforme). La cantidad a agregar depende del tipo harina, tipo de masa y el tipo de amasadora. (Urade, *et al.* 2003)

Es importante en la panificación ya que actúa al nivel de la formación de la red proteica del gluten, como si fuera un oxidante. En un principio no parecía posible ya que es conocido como antioxidante natural. Años más tarde, se demostró que por la acción de la enzima ascórbico oxidasa en presencia de oxígeno durante el amasado, se oxida a ácido dehidroascórbico, que es un oxidante. Esta acción favorece la unión entre cadenas de proteínas, que por acción de energía mecánica proporcionada durante el amasado, y van formando una red de gluten más fuerte. Se convierte en una masa menos pegajosa y más manejable. También permite una mejor retención de los gases liberados en la fermentación. (Urade, *et al.* 2003)

Parte del ácido dehidroascórbico, cuando se agota el oxígeno, se reduce a ascórbico o que produce un leve debilitamiento de la malla proteica al final de la fermentación, lo que facilita una mayor expansión en el horno. (Ayala 1997)

Es indispensable controlar la cantidad de ácido ascórbico que se le agrega ya que por un exceso pueden haber efectos indeseables como masas muy elásticas, difíciles de formar y secas; masas carentes de extensibilidad, dificultad para su desarrollo en la fermentación y cocción; y panes de sección redonda con cortezas de color pálido. También si falta este aditivo se pueden producir masas que se pegan, falta de desarrollo en el horno, panes de sección plana con corteza rojiza. (Van den Einde, *et. al.* 2003)

e. **Emulsionantes.** Los emulsionantes juegan un papel importante en el proceso de panificación. Se definen como sustancias que favorecen la formación y estabilización de las emulsiones. Una emulsión está compuesta por dos elementos no miscibles, uno de ellos es un producto con afinidad por las grasas (lipófilo) y el otro con afinidad por el agua (hidrófilo). Éstas forman una película resistente en la superficie de las gotitas dispersada y evitan así su combinación, de esta forma los emulsionantes sirven de ligazón entre las dos fases de la emulsión. (Higueros 1996)

Los acondicionadores de la masa tienen como función principal reforzar la masa, haciéndola más tolerante a todos los esfuerzos a que se somete durante el paso por las máquinas. Al mejorar el comportamiento de la masa, favorecen una mejor retención de gas. Se obtienen productos de mayor

volumen, con miga más fina y uniforme. Los ablandadores de miga ayudan a la suavidad y flexibilidad de la miga, lo cual caracteriza la frescura del producto. (Badui 1999)

Los emulsionantes mejoran las propiedades físicas de los productos ya mencionados. Además mejoran el volumen del producto debido a que existe una mejora en la captación de aire durante el masado, un refuerzo de la malla de gluten que permite retener mejor los gases de la fermentación y un retardo en la gelificación, prolongado el tiempo en que la masa se mantiene deformable y favorece su expansión. (Badui 1999)

Los emulsionantes actúan en diferentes etapas de la panificación. En la etapa de amasado o preparación de las piezas retienen más aire en las masas, facilitan la dispersión de la grasa, reducen la cantidad de grasa a añadir en algunas elaboraciones, reducen el tiempo de amasado, mejoran la tolerancia al amasado, mejoran la maquinabilidad, aumentan la fuerza y la extensibilidad y producen masas más secas. En cambio en la etapa de fermentación, aumentan la retención de gas, permiten reducir el tiempo de fermentación, aumentan la tolerancia a la fermentación y evitan hundimiento de las masas. En el horneado tienen una acción diferente ya que aumentan el volumen, mejora la textura, la miga de alveolado más fino, disminuye la pérdida de agua y evitan la caída del pan en el horno. Y finalmente en la comercialización mantienen el pan tierno más tiempo y prolongan la flexibilidad de la corteza y miga. (Figuroa, *et al.* 2003)

La lecitina fue el primer emulsionante utilizado en la panadería. Es un coproducto obtenido en la extracción y refinado de aceite de soya, también denominada goma que se extrae en el proceso de desgomado del refinado del aceite. Esta goma se trata y purifica para dar varios productos comerciales. Las lecitinas utilizadas en panadería se presentan comercialmente en forma fluida, de color oscuro y aspecto pastoso, y en polvo, de aspecto graso y color amarillento. Sus propiedades como emulsionante, humectante y antioxidante, tienen aplicación en panadería, mejorando la tolerancia al amasado, favoreciendo la retención de gas, mejorando la dispersión de otros emulsionantes y de las grasas en fórmulas ricas, evitando la oxidación excesiva de las masas. Su empleo está indicado en procesos no intensivos, procesos artesanos de fabricación lenta, y los industriales de fermentación prolongada, como en pan francés, precocido, etc. No deteriora el aroma y el sabor del producto acabado, y mantiene una coloración crema de la miga, muy natural. (Braverman 1980)

Los mono y diglicéridos de los ácidos grasos tienen capacidad para estabilizar emulsiones. De éstos, los monoglicéridos destilados, que se comercializan en pasta, polvo y perlas, se emplean en panadería por su notorio efecto de retardar el endurecimiento. La dosificación recomendada es de 2 a 5 gramos por kilogramo de harina. (Eskin 1990)

f. **“Mejorantes” en panificación.** A medida que pasa el tiempo, el uso de aditivos en la industria panadera es un hecho. Bajo la denominación común de “mejorantes”, el panadero aporta a la masa mezclas de aditivos autorizados que le suministran las compañías comerciales especializadas. La función que cumplen es la de reforzar las características de la harina, para que la masa resultante pueda ser manipulada en un proceso mecanizado. Así, la masa tendrá una buena capacidad de producción y retención de gas. Para que estos mantengan una buena estabilidad, a la par que un buen desarrollo, la aportación de un “mejorante” es una contribución muy valiosa. Tienen efectos en el producto final como lo son mayor desarrollo de la pieza, mayor suavidad de la miga, buen color y brillo de la corteza que cruje suavemente sin desprenderse. (De Gómez del Río 2003)

Los “mejorantes” comerciales, habitualmente, son una mezcla de tres tipos de materias activas fundamentales: agentes oxidantes, emulsionantes y enzimas. Además, pueden ir otras sustancias de acompañamiento, sean harinas de leguminosas, gluten o gasificantes, cuya función es la de acomodar los mecanismos de actuación fundamentales, a usos más específicos. (Figuerola, *et al.* 2003)

El tipo de emulsionante utilizado en su formulación, permite dividir los “mejorantes” comerciales de panificación en dos grandes grupos: los de lecitina y los que contienen esteres de ácido diacetil tartárico, o DATA. El “mejorante” es incorporado en el inicio del amasado, debido a que sus componentes comienzan a actuar desde la formación de la masa. (Higueros 1996)

g. **Fibra dietética.** Es un material que se encuentra en las plantas y que es resistente a la digestión en el intestino delgado humano. Existen dos tipos de fibra dietética: soluble e insoluble. La dieta contiene una mezcla compleja de ambos tipos de fibra. La fibra soluble es digerida por bacterias del colon, las cuales producen ácidos grasos de cadena corta y gases. Los ácidos grasos son una fuente de energía para el colon, aportando aproximadamente 3 kilocalorías por gramo de fibra soluble. (Egli 2003)

De manera tradicional, la fibra se ha definido como carbohidrato de origen vegetal que escapa a la digestión enzimática en el intestino delgado para entrar en el colon. El concepto de sustancias presentes en la dieta que son indigeribles se quedó rápidamente obsoleto ya que muchas otras sustancias se comportan igual, como ciertas proteínas (extensina o quitina), glicoproteínas (lecitina), productos de Maillard (producidos por el cocinado), aceites (de ricino por ejemplo) y otras moléculas como el oxalato. (2) Por esta razón, se define fibra como un polisacárido sin almidón con el agregado de lignina, que es un polifenol que proporciona rigidez a la estructura de la planta. Existen dos tipos de polisacáridos que no tienen almidón: celulósicos y no celulósicos. (Egli 2003)

Los polisacáridos celulósicos son polímeros largos, lineales de más de cuatro glucanos beta1. Son cadenas de alto peso molecular y presentan

fuertes puentes de hidrógeno entre ramificaciones de glucosa paralela. La celulosa es el polisacárido celulósico mejor conocido. Las fibras ricas en celulosa contribuyen en la reducción del tiempo promedio de tránsito de la defecación al disminuir la peristaltis y también contribuyen en gran medida a la masa fecal, aumentando su retención de agua y por lo tanto aumentando su peso. Este tipo de polisacáridos es abundante en cereales integrales de trigo, centeno y avena. (Badui 1999)

Los polisacáridos no celulósicos se hallan en forma de hemicelulosas, compuestas de cadenas ramificadas y azúcares de piranosida, y sustancias pépticas, compuestas de ácido D-galacturónico con carboxil metilado parcialmente y grupos hidroxil acetilados. Este tipo de fibra se degrada rápido por la microflora en el ciego y el colon. El beneficio de una dieta suplementada con fibra se le atribuye a la formación de estos ácidos grasos. Este tipo de fibra es abundante en frutas, legumbres, cebada y avena. (Badui 1999)

3. **Importancia del maíz.** El maíz está formado por cuatro partes principales: la cáscara, el germen, el endospermo y la punta. Hay varios colores de maíz, como el blanco, amarillo, rojo y negro. El afrecho de maíz comprende el 5 –6 % del grano, el germen es relativamente grande y comprende entre el 10-14%, siendo el resto el endospermo.

Los gránulos del almidón del maíz tienen forma poligonal y están rodeados de una matriz proteica, es mas duro que el almidón opaco del trigo. Por lo general los granos de maíz son muy duros, lo que indica que los enlaces entre proteína y almidón deben ser muy fuertes. El agua por sí sola no permite una buena separación de la proteína y el almidón.

Es importante resaltar que la proteína del maíz (zeina) tiene un alto nivel de leucina, aminoácido que tiene que ver con la deficiencia de pelagra o vitamina B. La zeina sin embargo, tiene niveles bajos de lisina, pero en el proceso de nixtamalización ( usar cal en el remojo del maíz), la hace disponible y produce una proteína altamente utilizable.

A continuación se muestra la composición química del grano de maíz, más utilizado ampliamente en la industria:

Tabla No. 3:  
Composición del maíz:

Componente (Unidad)	Maíz
Carbohidratos (%)	72
Proteína (%)	10
Humedad (%)	11
Grasa (%)	4
Fibra cruda (%)	2
Calorías /100gr.	352

(Silva 1992)

En esta tabla se puede observar que el grano de maíz es alto en su contenido de carbohidratos. A pesar que su cantidad de proteína es baja, se ha estudiado que es de alta calidad debido a su contenido de leucina disponible y al proceso de nixtamalización. (Silva 1992) A excepción del arroz, la riqueza de proteínas del maíz común es similar a la de los demás cereales. Tanto el maíz opaco 2, como el MPC de endospermo duro (Nutricia) tienen un contenido de proteínas no solamente superior al maíz común, sino también considerablemente superior al de los demás cereales.

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. Debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo, no se les puede considerar sólo una fuente de energía, sino que además suministran cantidades notables de proteínas. Los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de éstas se halla limitada por la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales.

Numerosos investigadores han analizado las causas de la baja calidad de las proteínas del maíz y entre los primeros estudios estuvieron los de Mitchell y Smuts (1932), quienes consiguieron mejoras notorias en el crecimiento humano al complementar dietas de proteínas de maíz al 8% con un 0.25% de lisina. Estos resultados han sido confirmados a lo largo del tiempo por otros autores (Howe, Janson y Gilfillan 1965), en tanto que otros (Bressani, Elías y Braham 1968) han demostrado que, al agregar lisina al maíz, sólo mejora levemente la calidad de proteína.

Se ha demostrado que el consumo de maíz presenta grandes ventajas en el buen funcionamiento del aparato digestivo. Esto es de crucial importancia en pacientes con esprue celiaco, debido a que el componente del trigo (gluten), no lo contiene.

En la siguiente tabla se presenta la composición química proximal del maíz. (INCAP 1996))

Tabla No. 4:  
Composición química y valores energéticos del maíz por 100 gramos:

Nutriente	Harina de maíz	Maíz grano entero	Maíz salpor
Energía (Kcal)	361	361	360
Humedad (%)	10.5	10.6	12.2
Proteínas (gr)	9.7	9.4	5.8
Grasa (gr)	4	4.3	4.1
Carbohidratos	74.8	74.4	76.8
Fibra (gr)	0.3	-	-
Cenizas (gr)	1.0	1.3	1.2
Calcio (mg)	13	9	5
Fósforo (mg)	175	290	241
Hierro (mg)	3.4	2.5	1.4
Tiamina (mg)	0.25	0.43	0.44
Riboflavina (mg)	0.12	0.10	0.08
Niacina (mg)	1.7	1.90	2.9
Retinol (eq)	23	23	-
Fracción comestible	1.00	1.00	1.00

(INCAP 1996)

Como se puede observar en la tabla anterior, el maíz es una fuente de calorías, un alto contenido de fibra cruda por su cáscara y aporta una gran cantidad de carbohidratos.

En el siguiente estudio se utilizarán tres tipos de grano de maíz para elaborar tres diferentes harinas de maíz para la formulación de un producto de panificación, ya que posee características como una buena fuente de almidón y tolerancia por las personas celiacas. Existe la evidencia que los carbohidratos que son más fácilmente digeridos mejoran la eficiencia de la proteína. Además que el maíz no contiene colesterol ni gluten y su contenido de sodio es bajo que lo hace excelente para las dietas restrictivas de estos factores (esprue celiaco, dislipidemias o hipertensión arterial). (Bolaños 1999)

La harina de maíz no es lo más adecuado para la elaboración de pan, porque no contiene las proteínas del gluten que le dan al trigo su habilidad para formar masas elásticas y productos suaves, blancos y sabrosos. Sin embargo, mucho se ha estudiado para preparar sustitutos del pan a partir de mezclas de harinas vegetales. Esto ha sido resultado de la demanda de personas que son alérgicas al gluten. Sólo las harinas de granos cortos y medianos tienen las propiedades fisicoquímicas necesarias para dar una miga de pan suave y texturizada. (Kadan, *et al.* 2001)

Se han evaluado en estudios científicos muchas gomas como reemplazantes del gluten, en 1976 desarrollaron un pan de arroz fermentado con levadura utilizando hidroxipropil metilcelulosa como sustituto del gluten durante el reposo de la masa. (Kadan, *et al.* 2001). El producto que se obtiene puede compararse con un pan integral, es un pan seco, que se desmorona y tiene poco sabor. Además, tiende a retrogradarse en unos días durante el almacenamiento bajo refrigeración a 4°C . Así los investigadores concluyeron que el pan de maíz no tiene las mismas características del pan integral, y no se ha encontrado la formulación que cumpla completamente con las expectativas de los consumidores. (Reyes 2002)

**4. Otro tipo de productos diferentes a la harina de trigo utilizados para la panificación mundialmente.** El trigo en particular, se encuentra en un gran número de alimentos en la dieta occidental. Puede decirse que este producto es el más importante de todos los cereales, además de ser un alimento económico. (Morales 1994)

También existe el concepto de harinas compuestas, el cual se viene utilizando desde el año 1964 por la FAO, con el objetivo de sustituir la harina de trigo por cereales producidos en las diferentes regiones. Por ejemplo en Alemania, más del 60% del pan disponible en el mercado está parcialmente sustituido con centeno, al igual que el Japón sustituye parcialmente la harina de trigo por harina de arroz, lo cual se produce en estos países. (Morales 1994)

Las razones por las cuales se crean harinas compuestas son para agregarle variaciones a las dietas de la población, para mejorar la nutrición, extender el uso de los suplementos de trigo, reducir costos en los ingredientes

de fabricación, estimular a los agricultores a cultivar nuevos productos que generan nuevos empleos en las áreas rurales e implementar la utilización de harinas que no sean de trigo en las plantas productoras. (Morales 1994)

Una de las principales harinas que se utilizan en la panificación como suplementarias, es la harina de soya, ya que contiene de 60 a 105% de los diferentes aminoácidos esenciales. Debido al contenido de aminoácidos esenciales de la proteína de soya, su mayor potencial nutricional se relaciona con el aporte que puede hacer para balancear la composición de aminoácidos esenciales donde los cereales son deficientes. Se cree que su proteína es de alto valor biológico como la de origen animal. (Morales 1994)

La soya es una planta leguminosa, originaria de China, su nombre científico es *Soja hispida* o *Glycine soja*. Contiene un 40 % de proteína y un 20% de grasas. La proteína de soya es de excelente calidad, aunque tiene una ligera deficiencia de metionina. Para que la soya se complemente se deben utilizar mezclas de esta harina con gluten de trigo o de maíz. (Bolaños 1999)

En años recientes la soya se ha utilizado para la elaboración de pan. Se dice que el pan preparado con 12% de harina de soya no sólo es aceptable para el consumidor, sino que contiene más proteína y de mejor calidad que los elaborados con harina de trigo común. Pero también se ha observado que el uso de este tipo de harina requiere de un incremento en el uso de agua en las formulaciones. Esto provoca que el gluten del trigo se diluya dando masas pegajosas. Esto se evita por medio de elección de la cantidad adecuada de la harina de soya. (Morales 1994)

El amaranto es una planta que pertenece a la familia de los amarantaceae y al género *Amaranthus*. Su nombre científico es *Amaranthus* Spp. El amaranto es una planta de cultivo anual que puede alcanzar de 0.5 a 3 metros de altura; posee hojas anchas y abundantes de color brillante, espigas y flores púrpuras, naranjas, rojas y doradas.

La familia *Amaranthaceae* reúne cerca de 60 géneros y más de 800 especies cuyas características cambian notablemente, dependiendo del ambiente en el que crecen, lo que dificulta la identificación de la planta.

La planta de amaranto tiene una panícula (panoja) parecida al sorgo con una longitud promedio de 50 centímetros a un metro. Esta panoja formada por muchas espigas que contienen numerosas florcitas pequeñas, que alojan a una pequeña semilla, cuyo diámetro varía entre 0.9 y 1.7 milímetros, representa el principal producto de la planta de amaranto con la que se elabora cereales, harinas, dulces, etc.

El ciclo vegetativo del amaranto tiene un promedio de 180 días, desde que germina hasta que la semilla alcanza su madurez. Históricamente, el origen de la planta de amaranto se ha ubicado en Centro y Norteamérica (México y Guatemala) y Sudamérica (Perú y Ecuador).

Junto con el maíz, el frijol y la chía, el amaranto fue uno de los principales productos para la alimentación de las culturas precolombinas de América. Para los mayas, aztecas e incas el amaranto fue la principal fuente de proteínas y se consumía como verdura y grano reventado. Además estuvo asociado a los ritos religiosos, a los dioses y a la visión cósmica de estas culturas

El amaranto se consume principalmente como cereal reventado, del cual se elaboran los siguientes productos finales: alegrías, amaranto (cereal) reventado, granolas, tamales, atoles, pinole, mazapán, etc.

De la planta de amaranto se pueden obtener productos derivados, de los cuales, el más importante es el grano de amaranto, que al ser reventado provee de un cereal para elaborar productos terminados como las alegrías, mazapanes, cereal reventado, granolas y harinas de amaranto.

El amaranto es el producto de origen vegetal más completo, es una de las fuentes más importante de proteínas, minerales y vitaminas naturales: A, B, C, B1, B2, B3; además de ácido fólico, niacina, calcio, hierro y fósforo. Además, es uno de los alimentos con altísima presencia de aminoácidos como la lisina.

La cantidad de proteína de la semilla de alegría es mayor que la de los cereales. Contiene el doble de proteína que el maíz y el arroz, y de 60 a 80 por ciento más que el trigo. El amaranto se puede utilizar integralmente como un recurso para proporcionar a la población los requerimientos proteicos y de calorías, los cuales en la actualidad se obtiene tan sólo de 20 especies vegetales como el trigo, arroz, mijo, sorgo, papa, frijol, soya, azúcar, etc.

El amaranto ha sido aprovechado desde tiempos prehispánicos: las hojas se utilizaron para infusión contra la diarrea no sólo por su valor nutritivo, sino también por las propiedades médicas que se le atribuyen y se han confirmado con las investigaciones realizadas durante los últimos años.

Por las propiedades nutritivas y los componentes del amaranto (proteínas, vitaminas, minerales, aminoácidos, fibra y grasas) es recomendado para prevenir y ayudar a curar afecciones como la osteoporosis, en diabetes mellitus, obesidad, hipertensión arterial, estreñimiento y diverticulosis, insuficiencia renal crónica, insuficiencia hepática, encefalopatía hepática, alimento apto para celíacos, dieta para personas con autismo.

### III. JUSTIFICACIÓN

El control de la dieta es esencial en pacientes con intolerancia al gluten para evitar síntomas secundarios como la diarrea, flatulencia, estreñimiento, dolor, etc. Es vital que se lleve a cabo un control estricto de calorías y su naturaleza, ya que estos pacientes tienden a perder peso, porque muchos de los alimentos que se encuentran en el patrón alimentario para Guatemala contienen gluten.

En Guatemala, a principios del siglo 20 (1947), se consideraba que esta enfermedad sólo afectaba a una persona en 200,000. Pero ahora, con la avanzada tecnología médica para diagnosticarlo, se ha detectado mayor número de personas que la padecen, hasta llegar a uno en cien. (Ligorria 2004)

Es difícil que el paciente lleve una dieta libre de gluten, ya que en la mayoría de los casos ha estado acostumbrado a incluir este tipo de alimentos en su dieta. Además, tendría que eliminar muchos alimentos de su agrado y dejar fuera de su dieta cualquier alimento que contenga gluten. Esto puede llevar a la persona con esprue celiaco a sentirse limitada, y querer sobrepasar las indicaciones dadas por su médico. (Montenegro 2004)

En Guatemala aún existen escasos productos fuera de gluten en los que se refiere a panadería. Existen unos cuantos en tiendas exclusivas, que son importados y esto eleva el precio y reduce el acceso de este tipo de alimentos a estas personas. (Milián 2004)

Si se observa un crecimiento de la prevalencia de esta enfermedad, es necesario desarrollar productos alimenticios que cubran las necesidades de este grupo de población (productos funcionales), sin que les hagan daño. Además, existen pocos productos de panadería actualmente en el mercado comúnmente incluidos en el patrón alimentario de esta población.

Se elaboró un producto de panificación libre de gluten, con ingredientes disponibles en el país, para que cualquier industria o persona particular lo pueda producir sin ningún problema.

## IV. OBJETIVOS

### A. Objetivos generales

1. Desarrollar un producto nuevo apto para ser consumido por personas que sufren de esprue celiaco.

### B. Objetivos específicos

1. Formular un producto de panificación sin adición de harina de trigo.
2. Analizar las propiedades físicas (color, olor, esponjosidad, sabor) y químicas (humedad, cenizas, proteínas, grasas, fibra dietética) del producto obtenido.
3. Determinar la aceptabilidad sensorial del producto.
4. Desarrollar un producto de panificación nutricionalmente superior a la los elaborados con harina de trigo.

## V. HIPÓTESIS

Se puede desarrollar un producto de panificación libre de gluten utilizando mezclas de diferentes harinas ( maíz y amaranto ), como sustituto de harina de trigo de tal forma que pueda ser consumido por personas que sufren esprue celiaco y que mantenga características físicas y organolépticas similares a las de un producto de panificación a base de harina de trigo.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales

#### Primera formulación:

La fórmula que se analizó fue recomendada por un grupo de estudiantes que realizó un trabajo sobre productos de panificación sin gluten donde recomiendan esta fórmula para estudios posteriores, la cual ha sufrido cambios en algunos ingredientes. (Figueroa, *et al.* 2003)

1. Harina de maíz (Maíz Protricta)	460 g
2. Levadura seca	18 g
3. Sal	9.2 g
4. Mantequilla	90 g
5. Agua	320 ml.
6. Huevos (clara)	100 ml.
7. Azúcar.	150 g
8. Leche en polvo	23 g
9. Miel	25 ml.
10. Mejoradores de la masa:	
• Agentes emulsionantes (lecitina de soya)	2 g
• Agentes espesantes (almidón modificado).	2.5 g
• Agentes antioxidantes (ácido ascórbico).	0.10 g

#### Segunda formulación:

La segunda formulación que se hizo es igual a la primera a diferencia que se le agregó amaranto.

1. Harina de maíz (maíz protricta)	345 g
2. Amaranto expandido	115 g
3. Levadura seca	18 g
4. Sal	9.2 g
5. Mantequilla	90 g
6. Agua	320 ml.
7. Huevos (clara)	100 ml.
8. Azúcar.	150 g
9. Leche en polvo	23 g
10. Miel	25 ml.
11. Mejoradores de la masa:	
a. Agentes emulsionantes (lecitina de soya).	2 g
b. Agentes espesantes (almidón modificado).	2.5 g
c. Agentes antioxidantes (ácido ascórbico).	0.10 g

#### Tercera formulación:

La tercera formulación que se realizó fue la control donde se utilizó harina de trigo, principalmente para el estudio en ratas.

1. Harina de trigo	460 g
2. Levadura seca	18 g
3. Sal	9.2 g
4. Mantequilla	90 g
5. Agua	320 ml.
6. Huevos (clara)	100 ml.
7. Azúcar.	150 g
8. Leche en polvo	23 g
9. Miel	25 ml.
10. Mejoradores de la masa:	
a. Agentes emulsionantes (lecitina).	2 g
b. Agentes espesantes (almidón modificado).	2.5 g
c. Agentes antioxidantes (ácido ascórbico).	0.10 g

## A. Métodos

### 1. Proceso de panificación utilizado.

Elaboración del pan:

Se siguió un proceso típico de elaboración de pan compuesto por los siguientes pasos ( en las tres formulaciones):

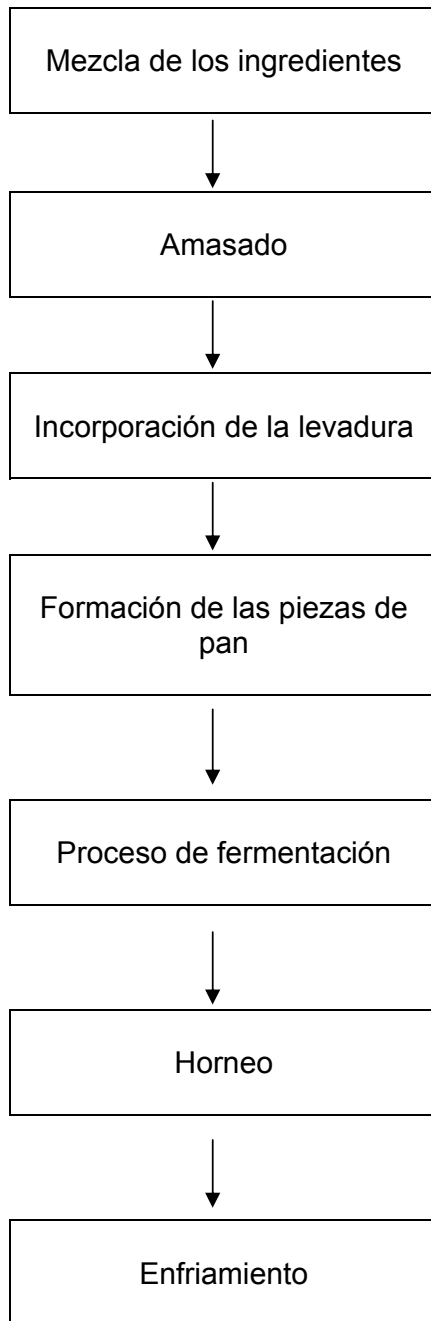
- Pesado de los ingredientes.
- Mezcla de los ingredientes.
- Afinado de la masa. (20 minutos)
- Formación de pequeñas bolas de masa ( 2 onzas).
- Figuración.
- Reposo de 20 a 30 minutos.
- Horneo a temperatura de 350 °C por 20 minutos

Como primer paso se disolvió la levadura en agua tibia con azúcar, hasta obtener una pasta espesa y se dejó reposar en un lugar a temperatura ambiente durante 10 minutos. Luego se colocó sobre la mesa la harina formando una rueda, y en el centro se distribuyeron los ingredientes, excepto la levadura. Se trabajó con las manos para que se integren los ingredientes.

Como segundo paso se amasó hasta formar una masa lisa (20 minutos) y se agregó la levadura disuelta. La incorporación de la levadura se hizo hasta el final del amasado para evitar la gasificación prematura. Se dejó en reposo la masa completa en un bol tapado con un lienzo humedecido, y se dejó reposar en un lugar tibio, hasta que la masa aumentó su tamaño. Luego se hicieron bolitas de 2 onzas cada una y se colocaron en un molde.

Por último, se horneó de 20 a 25 minutos a una temperatura de 210 °C (hasta que la masa estuvo dorada y cocida). Al salir del horno, el pan se colocó en moldes y se dejó enfriar antes de consumirlo o empacarlo.

## 2. Diagrama del proceso.



Las evaluaciones físicas, químicas y funcionales, se realizaron con las primeras dos formulaciones de panes, para determinar la diferencia de la utilización de los diferentes mezclas con harina de maíz. La tercera formulación fue únicamente utilizada para el análisis biológico.

### 3. Métodos físicos.

Evaluación física del pan tomando en cuenta las dimensiones altura, diámetro, peso y volumen. Dichas mediciones fueron realizadas por medio de una regla graduada en centímetros y milímetros.

### 4. Métodos químicos.

- a. Método oficial de la AOAC para pan y harinas para la determinación de porcentaje de humedad. (No. 14.004, horno de aire).
- b. Método oficial de la AOAC para pan y harinas para la determinación del porcentaje de cenizas. (No. 14.006, método directo).
- c. Método oficial de la AOAC para pan y harinas para la determinación del porcentaje de grasas. (No. 14.018, extracto etéreo).
- d. Método oficial de la AOAC para pan y harinas para la determinación del porcentaje de proteína (No. 14.026 Kjeldahl).
- e. Método oficial de la AOAC para pan y harinas para la determinación del porcentaje de fibra dietética. (Sigma-Aldrich basado en AOAC No. 45.4.07, 16 edición)
- f. Método de determinación del porcentaje de carbohidratos totales. (Método por diferencia)

### 5. Características funcionales.

- a. Textura (firmeza). Método estándar AACC 74-09
- b. Retrogradación.

### 6. Método de evaluación sensorial.

#### a. Materiales para las pruebas.

- Platos desechables.
- Vasos desechables.
- Servilletas.
- Formulario de evaluación.

**b. Prueba de preferencia (personas intolerantes al gluten).** Esta prueba se llevó a cabo para que las personas intolerantes al gluten escogieran dentro de las dos formulaciones la que mejor características sensoriales tuviera.

En esta prueba se le pidió al evaluador que respondiera cuál de las dos formulaciones prefiere más.

**c. Prueba hedónica (personas intolerantes al gluten).** Esta prueba se realizó con la formulación ya previamente escogida por las personas intolerantes al gluten en la primera prueba.

En esta prueba se le pidió al evaluador que respondiera cuánto le gusta o disgusta el producto, de acuerdo con la escala presentada en la boleta de evaluación. Para la prueba se utilizó la escala hedónica de 5 puntos, en la cual el juez eligió: me gusta mucho, me gusta, no me gusta ni me disgusta, me disgusta o me disgusta mucho.

Se evaluaron las siguientes características: sabor, olor, color y esponjosidad. Cada evaluador recibió un formulario del producto como el que se presenta en el anexo No. 3.

Con esta prueba se pretendía medir cuánto agrado o desagrado hay de parte de la población intolerante al gluten, al nuevo producto desarrollado para ellos.

**7. Estudio en ratas.** El estudio con ratas se hizo para determinar la calidad nutricional de los productos de panificación. Esto se determinó por medio de la ganancia de peso con el indicador NPR y la digestibilidad de la proteína.

Se dividieron en 5 grupos de 8 ratas cada uno (mitad machos y mitad hembras), 3 fueron de las diferentes formulaciones (pan de maíz, pan de maíz y amaranto y pan de trigo) y uno fue de caseína y la última dieta fue libre de nitrógeno. Se monitoreo durante 2 semanas, obteniendo la ganancia de peso. Se les dio 100 gramos de muestra a comer, y también se monitoreo el porcentaje de residuos que dejan.

#### Método para determinar el índice de eficiencia proteínica y la razón proteínica neta:

**Animales:** Se usaron ratas machos y hembras recién destetados de una sola cepa, de 20 a 23 días de edad, a razón de ocho para cada dieta.

**Duración del ensayo:** 2 semanas

**Jaulas:** se usaron jaulas individuales provistas de comederos que redujeran al mínimo el derrame de alimento.

**Aleatorización:** Se usó un diseño de bloques al azar en el que los bloques representan variaciones en peso inicial. Se distribuyeron las ratas al azar en cada bloque, por dieta y jaula. Si la variación entre camadas es significativa, se utilizo un diseño que permita eliminar esta variable.

**Registros:** se llevó un registro semanal del alimento consumido y del peso corporal.

La dieta de prueba de caseína de alto contenido de nitrógeno, aprobada por el Animal Nutrition Research Council (ANRC) y preparada por la Sheffield Chemical Company, Norwich, New York, EUA, se ha encontrado bastante satisfactoria.

Al final de dos semanas se calculó el NPR para cada alimento bajo prueba y para la dieta de caseína estándar de referencia.

Para la determinación del NPR. Además del grupo de prueba, manténgase un grupo control de ratas, apareadas en peso con respecto al grupo experimental, en una dieta consistente de la ración basal sin modificar. A las dos semanas se calculó el NPR para cada alimento, como sigue:

$$\text{NPR} = \frac{\text{ganancia del animal bajo prueba} - \text{pérdida del animal control}}{\text{proteína consumida por el animal bajo prueba}}$$

Nota: Para la determinación del NPR es importante que los pesos de los animales en los grupos de prueba y control, sean apareados a 1 g de diferencia.

**Análisis estadístico.** Para el análisis de los datos se utilizó el programa Excel, Office XP; y se agruparán conforme las características sensoriales a evaluar. Se utilizarán promedios, medias, modas, desviación estándar, para el análisis de los datos obtenidos en el cuestionario.

## VII. RESULTADOS

### A. Análisis físico

Para el análisis de las características físicas del pan se procedió a tomar las siguientes medidas:

Cuadro No. 5.  
Dimensiones de los panes

Mezcla	Altura (cm)	Volumen (1 cm <sup>3</sup> )	Peso (gr.)	Diámetro
Pan de maíz	3.8 + 0.4	615.9 + 20	29.7 + 0.5	3.0 + 0.2
Pan maíz + amaranto	4.3 + 0.4	704.6 + 20	30.6 + 0.5	3.5+0.2
Pan trigo	5.4 + 0.4	902.1 + 20	26.8 + 0.5	4.1+ 0.2

Para la determinación de firmeza en pan se utilizó el método Estándar AACC 74-09. El equipo que se utilizó para esta prueba fue el siguiente: Medidor de Textura TA-XT2 y sonda cilíndrica de 25 mm. Para ello se llevo a cabo el siguiente procedimiento: Se colocaron los siguientes parámetros para el analizador de textura:

Modo: Fuerza en compresión  
 Velocidad pre-ensayo: 1 mm/s  
 Velocidad de ensayo: 1.7 mm/s  
 Velocidad de post- ensayo: 10 mm/s  
 Fuerza: 5 gr.

Luego se calibró el equipo. Se colocaron las muestras de forma centrada bajo la sonda cilíndrica. Por último se realizó la prueba de compresión. Los resultados que se obtuvieron se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro No 6:  
Fuerza de compresión (Kilogramos)

Tipo de pan	Fuerza (gr)	Tiempo (seg)
Pan control	600.8 gr	6.5
Pan de maíz con amaranto	674.8 gr	1.5
Pan de maíz	667 gr	1.8

Las gráficas se muestran en el anexo No. 6 , donde se puede observar la dureza de las diferentes formulaciones de pan.

## B. Análisis químico

Cuadro No 7:  
Composición nutricional de la materia prima

Componente	Harina de Trigo	Harina de amaranto	Harina de maíz proctrica
Carbohidratos (%)	77.10 + 0.50	65.50 + 0.50	75.20 + 0.50
Proteínas (%)	9.50 + 0.05	12.40 + 0.05	9.70 + 0.05
Grasas (%)	1.50 + 0.15	5.80 + 0.15	3.60 + 0.15
Humedad (%)	11.40 + 0.30	9.30 + 0.30	10.50 + 0.30
Cenizas (%)	0.60 + 0.05	3.0 + 0.05	1.00 + 0.05
Fibra dietética (%)	7.00 + 0.25	4.20 + 0.25	7.35 + 0.25

Cuadro No 8:  
Composición nutricional de los panes elaborados

Componente	Pan de maíz	Pan de maíz + amaranto	Pan de trigo
Carbohidratos (%)	70.95 + 0.50	50.17 + 0.50	55.80 + 0.50
Proteínas (%)	7.68 + 0.05	9.18 + 0.05	8.50 + 0.05
Grasas (%)	4.80 + 0.20	6.39 + 0.20	4.20 + 0.20
Humedad (%)	15.27 + 0.17	32.70 + 0.17	30.40 + 0.17
Cenizas (%)	1.30 + 0.05	1.56 + 0.05	1.10 + 0.05
Fibra dietética (%)	5.01 + 0.25	6.04 + 0.25	4.70 + 0.25

## C. Evaluación sensorial

Cuadro No 9:  
Prueba de preferencia por tablas de distribución binomial para 10 juicios

Muestra	No. De preferencias	% de preferencias
Pan de maíz + amaranto	9	90
Pan de maíz	1	10
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

Cuadro No. 10  
Prueba hedónica de 5 puntos para la muestra de pan a base de  
Harina de maíz y amaranto.

## Apariencia

Característica	# personas	Valor	Total
Me gusta mucho	3	5	15
Me gusta	5	4	20
No me gusta ni me disgusta	2	3	6
Me disgusta	0	2	0
Me disgusta mucho	0	1	0
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>41</b>

## Sabor

<b>Característica</b>	<b># personas</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Me gusta mucho	2	5	10
Me gusta	4	4	16
No me gusta ni me disgusta	2	3	6
Me disgusta	2	2	4
Me disgusta mucho	0	1	0
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>36</b>

## Textura

<b>Característica</b>	<b># personas</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Me gusta mucho	1	5	5
Me gusta	4	4	16
No me gusta ni me disgusta	3	3	9
Me disgusta	2	2	4
Me disgusta mucho	0	1	0
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>34</b>

## Esponjosidad

<b>Característica</b>	<b># personas</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Me gusta mucho	2	5	10
Me gusta	3	4	12
No me gusta ni me disgusta	2	3	6
Me disgusta	2	2	4
Me disgusta mucho	1	1	1
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>33</b>

## Aceptabilidad

<b>Característica</b>	<b># personas</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Me gusta mucho	4	5	20
Me gusta	5	4	20
No me gusta ni me disgusta	1	3	3
Me disgusta	0	2	0
Me disgusta mucho	0	1	0
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>43</b>

## D. Análisis biológico

Los resultados se muestran en el anexo No. 5.

## VIII. DISCUSIÓN

El objetivo del estudio fue formular un producto de panificación con mezcla de harinas de alto valor proteico para obtener un perfil nutricional mejor que los productos elaborados a base de trigo. Este producto, además de ser de mejor calidad nutricional, va dirigido a personas con intolerancia al gluten.

La evaluación de las características físicas del pan consistió en la medición de la altura, ancho, largo, peso y volumen de los piezas de pan. En los cuadros 5 y 6 se muestran las medidas que permanecieron constantes. Las variables que presentaron mayor variación fueron el volumen y el peso. Se analizaron los datos por medio del análisis de varianza y se obtuvo una diferencia significativa entre las muestras. Esto se debe a que en panes únicamente a base de maíz existe una mínima retención de gas, en cambio al agregarle amaranto éste estaba expandido y le daba mucho más cuerpo a dicho producto. Esto se debe a que el amaranto sufrió un proceso donde el grano se reventó y duplicó su volumen, así que ocupó un mayor espacio al agregarlo al pan de maíz, dándole mayor volumen y cuerpo. El grano de amaranto, ha llamado la atención por las siguientes razones: contiene más proteína que los cereales, entre 14 y 18%. La proteína del amaranto presenta un buen balance de aminoácidos. El contenido de lisina es superior a 5 g por 100 g de proteína y es considerado el aminoácido esencial que limita la calidad proteica de la mayoría de los cereales.

En cuanto a textura, los resultados se muestran en el Anexo No. 6 donde se puede observar que, según los datos obtenidos en la tabla No. 6, el pan que se encontraba mucho más duro era el de maíz ya que necesitó menos tiempo para llegar a la misma fuerza de compresión que el pan control (de trigo). Esto se debe principalmente a que el pan de trigo (control) posee dos proteínas (glutenina y gliadina) que le permiten la formación de una red donde puede quedar atrapado el gas producido en la fermentación. Esto le permite tener una textura mucho más suave a diferencia del pan de maíz que no contiene estas proteínas. A diferencia el pan de maíz con amaranto presentó un mayor tiempo de compresibilidad por lo que se asemeja su textura a la del pan de trigo. Esta características se debe principalmente a que el amaranto contiene un porcentaje de proteína mayor que la del maíz, por lo cual esta le estaría ayudando a la retención de gas. Es importante mencionar que el amaranto se agregó expandido por lo cual hay una ruptura del grano lo cual hace que la proteína participe en la textura del pan.

La evaluación visual del pan de harina de maíz detectó un menor tamaño de la miga y fue una masa mucho más compacta (volúmenes menores). En cambio el pan que contenía la mezcla de amaranto y maíz se podía observar una miga mucho mas grande, por ende el volumen del mismo era mayor. El volumen aumentó a medida que se le agregó el amaranto. Así mismo el pan que era únicamente de maíz se endureció más rápidamente, aunque su sabor no fuera desagradable, simplemente era un poco más duro. El proceso de retrogradación

se determinó mediante la observación de los panes, el cual fue mayor en el pan de maíz que en la mezcla. Esto se debe a que con el pasar del tiempo el pan de maíz endureció mucho más rápido que el pan que contenía amaranto.

En el análisis proximal se determinó que los productos elaborados a base de maíz protracta tenían una mayor cantidad de proteína y de grasa que el control. En lo que respecta al análisis de la calidad de la proteína realizado con un grupo de ratas, se determinó que el producto que mayor calidad proteica presentaba era la mezcla de harina de maíz y amaranto respecto a un grupo control de caseína. Siguiéndole el pan únicamente de maíz y pobremente el pan de trigo.

Los resultados del análisis proximal se muestran en el cuadro No. 7 y 8. Se muestra el porcentaje de cada uno de los componentes ( humedad, cenizas, grasa, proteínas, carbohidratos y fibra dietética) es el esperado para cada producto, sin embargo, es probable una variación debido a las características de los métodos empleados.

Con las dos formulaciones se procedió a realizar una evaluación sensorial para establecer la preferencia entre las dos muestras. Para ello se llevó a cabo con un panel de 10 personas intolerantes al gluten. Era muy importante que las personas que evaluaran este producto padecieran de esta enfermedad ya que hacia ellas estaba dirigido el producto. Los panelista fueron adultos mayores de 30 años y eran de ambos sexos. El cuestionario que se utilizó para la evaluación se encuentra en el anexo No. 3, y los resultados se presentan en el cuadro No. 9. El panel señaló como producto preferido el pan de maíz con amaranto, con un nivel de significancia del 5%. Estos resultados nos permiten afirmar lo que se obtuvo en análisis físicos, químicos y biológicos, que el pan de maíz y amaranto es el preferido.

La aceptabilidad de la formulación preferida se determinó por el mismo panel sensorial por medio de una escala hedónica de 5 puntos. Los resultados de la evaluación se presentan en el cuadro No. 9. A La prueba hedónica nos indica que la mezcla de pan de maíz con amaranto fue calificada en cuanto a su sabor, textura, color, esponjosidad y apariencia, general como me gusta por la población de intolerantes al gluten. Algunas de la observaciones que presentaron los panelistas fue que el pan era mucho más duro que el de trigo debido a que no existe la misma retención de gas producido en la fermentación del pan ya que no posee las proteínas formadoras de redes que son la glutenina y la gliadina. También indicaron que el pan con amaranto parecía integral y tenía un buen sabor debido a que al agregarle el amaranto expandido este tenía un color característico oscuro que le brindaba la sensación de ser integral. Además contribuía con el sabor ya que el amaranto expandido es bastante suave y duplica el volumen del grano entero natural.

El último análisis que se realizó fue el biológico, el primer grupo lo formaron las ratas alimentadas con pan de maíz y amaranto, el segundo grupo con pan de maíz, el tercer grupo con pan de trigo, el cuarto grupo ratas alimentadas con caseína y el quinto grupo ratas con dieta libre de nitrógeno (los últimos dos fueron los controles). Se les dio el pan ya molido durante 2 semanas y luego se determinó el indicador NPR para evaluar la calidad de la proteína. Así mismo se determinó la digestibilidad de la proteína del pan mediante el análisis de la proteína de las heces de las ratas. Los resultados se pueden observar en el anexo No. 5. Se determinó que el pan que más se asemejaba a la dieta de caseína (proteína de alto valor biológico) fue el de amaranto y de maíz, luego le seguía el de maíz y por último el de trigo. Se determinó además que tanto el pan de maíz como el pan con amaranto superaban la calidad nutricional del pan de trigo que en este estudio fue el punto de referencia.

El valor obtenido en el análisis biológico referente a la caseína fue de 5 y el valor teórico es de 4.5. Esto probablemente se debe a que las ratas que se utilizaron eran la primera camada que las madres tenían, por lo que su peso inicial era mayor que en otros estudios. Este es un factor que podría haberles permitido a las ratas crecer mucho más y ganar bastante peso por lo que el valor práctico de NPR de la caseína superó al teórico.

El pan con amaranto fue de mayor calidad nutricional debido a que es un producto vegetal con mayor cantidad de proteína que la de los cereales. Contiene el doble de proteína que el maíz y el arroz, y de 60 a 80 por ciento más que el trigo. El amaranto se puede utilizar integralmente como un recurso para proporcionar a la población los requerimientos proteicos y de calorías, los cuales en la actualidad se obtiene tan sólo de 20 especies vegetales como el trigo, arroz, mijo, sorgo, papa, frijol, soya, azúcar, etc. Además, es uno de los alimentos con altísima presencia de aminoácidos como la lisina, la cual es limitante en cereales como el maíz, lo cual complementa al pan elaborado en el estudio, volviéndolo con una proteína de mayor calidad como lo indica el análisis biológico.

La digestibilidad de la proteína se observa en el anexo No. 5 que los parámetros utilizados fueron la dieta de caseína y la dieta libre de nitrógeno, obteniendo valores entre 70 (dieta libre de nitrógeno) y 91 (dieta de caseína). Comparando los resultados de las dietas analizadas en el estudio con estos parámetros se puede determinar que la dieta que mayor digestibilidad tuvo fue la dieta de pan de trigo con un valor de 87. La dieta de pan de maíz y amaranto presentó el segundo lugar con una digestibilidad de 85 y por último la dieta de maíz con 84. Esto significa que no existe diferencia significativa en cuanto a la digestión de la proteína de los diferentes panes en el organismo de las ratas. Como se puede observar la dieta que mayor digestibilidad tenía era la control de caseína pero se le asemejaba más la dieta de pan de trigo. Coincidió con los resultados de la fibra dietética ya que entre mayor cantidad de esta se presentaba en las formulaciones menor era el grado de digestibilidad.

## IX. CONCLUSIONES

- A. El producto final de harina de maíz con amaranto demostró tener un grado de aceptabilidad alto dentro del panel de personas que presentan la enfermedad del esprue celíaco que lo evaluaron sensorialmente.
  
- B. El pan elaborado es una buena opción para ser incluido en la dieta de personas que padecen de esprue celíaco.
  
- C. El producto de harina de maíz protrica con amaranto fue el que mayor calidad biológica presentó en el estudio inclusive mayor que el pan hecho a base de trigo.

## X. RECOMENDACIONES

- A. Llevar a cabo un estudio de la factibilidad para la elaboración del producto de panificación desarrollado en el presente trabajo.
- B. Utilizar otro tipo de mezclas de harinas para la elaboración de nuevos productos de panificación para personas intolerantes al gluten.
- C. Realizar un estudio con las diferentes presentaciones del amaranto (expandido, laminado, grano puro, entre otros) y mezclas de harina de maíz para determinar si existe diferencia en el producto final obtenido.
- D. Realizar estudios biológicos con nuevas formulaciones para determinar la calidad de las mismas, comparándolo con el patrón alimentario que en este caso sería el pan de trigo.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. AOAC. *Official Methods of Analysis*. 1984. 14 ed. Virginia, EEUU. 1141 pp.
2. Arranz, E., y A. Ferguson. 1993. *Intestinal antibody pattern in celiac disease: Occurrence in patients with normal jejunal biopsy histology*. *Gastroenterology*. 104:1263 - 1267.
3. Ayala, R. 1997. *Desarrollo de una barra nutritiva dirigida a niños de edad escolar*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 51pp.
4. Badui, S. 1999. *Química de los alimentos*. 3era Ed. Longman de México editores, S.A. 648pp.
5. Basman, A., et. al. 2003. *Utilization of Transglutaminase to Increase the Level of Barley and Soy Flour Incorporation in Wheat Flour Breads*. *Journal Food Science* 68(8): 2453-2460.
6. Bolaños, P. 1999. *Desarrollo de una bebida hidratante y nutritiva para deportistas a base de arroz, plátano y aislado de soya*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 104pp.
7. Braverman, J. 1980. *Introducción a la bioquímica de los alimentos*. Editorial El manual moderno, S.A. México, D.F. 358pp.
8. Canjura, F. 1987. *Evaluación de las harinas de maíz amarillo, maicillo y amaranto, como sustitutos parciales de la semolina de trigo duro en la elaboración de pastas alimenticias*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 81pp.
9. Corazza, G., et. al. 1992. *Gliadin immune reactivity is associated with overt and latent enteropathy in relatives of celiac patients*. *Gastroenterology*. 102: 1517- 1522.
10. De Gómez del Río, M. E. 2003. *Alimentos funcionales, ¿Alimentos del futuro? La Alimentación Latinoamericana*. N° 246. 16-21. Recuperado de internet el 16 de marzo 2004: <http://www.publitec.com/NOTLAL1.pdf>
11. Desrosier, N. 1994. *Elementos de la tecnología de alimentos*. 10ma. Ed. Editorial continental, S.A. México, D.F. 771pp.
12. Di Cagno, et. al. 2004. *Sourdough Bread Made from Wheat and Nontoxic Flours and Started with Selected Lactobacilli Is Tolerated in Celiac Sprue Patients*. [Applied and Environmental Microbiology](#).

- February, Vol. 70, No. 2: 1088-1096. Recuperado de internet el 25 de febrero 2004: <http://aem.asm.org/cgi/content/abstract/70/2/1088>
13. Egli, L., et al. 2003. *Phytic acid degradation in complementary food using pitase naturally occurring in whole grain cereals*. Journal of Food Science. Junio, vol 68, No. 5: 1855 – 1859.
  14. Escobar, P. 1998. *Manual para el desarrollo de un producto alimenticio nuevo*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 82pp.
  15. Eskin, M. 1990. *Biochemistry of Foods*. 2da Ed. Academic Press, USA. 349 pp.
  16. Figueroa, P., et al. 2003. *Proyecto final, elaboración de un producto sin gluten. (Proyecto de aditivos en la industria alimentaria)*. Universidad del Valle de Guatemala. 40pp.
  17. Guyton, A., y J. Hall. 1997. *Tratado de Fisiología Médica*. 9ª Ed. Interamericana McGraw-Hill, México. 1262pp.
  18. Harrison, C. 1998. *Principios de medicina interna*. 14 ed. McGraw-Hill España. 2941pp
  19. Higueros, C. 1996. *Desarrollo de una tableta de chocolate de leche, con grasas reducidas, para ser consumido por personas diabéticas*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 72pp.
  20. INCAP. 1996. *Valor nutritivo de los alimentos para Centroamérica y Panamá*. Instituto de nutrición de Centroamérica y Panamá, OPS. Guatemala. 98pp.
  21. Kadan, R., et al. 2001. *Texture and other physicochemical properties of whole rice bread*. Journal of Food Science. Vol. 66, No. 7: 940-944p.
  22. Kadan, R., et al. 2003. *Functional properties of extruded rice flours*. Journal of Food Science. Vol 68, No.5: 1669- 1672.
  23. Ligorria, E. *Conferencia dictada por el Gastroenterólogo Eduardo Ligorria, en el congreso de medicina interna (Centro Médico), Guatemala enero del 2004*.
  24. Mahan, K., y M., Arlin. 2001 *Nutrición y Dietoterapia de Krause*. 10ª ed. McGraw-Hill, México. 1274Pp.
  25. Milián, A. 2004. *Paciente con esprue celiaco. Comunicación personal*.

26. Moncada, E. 1998. *Desarrollo de un pastelito tipo cubilete apto para ser consumido por personas diabéticas*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 52pp.
27. Montenegro, S. 2004. *Paciente con esprue celiaco. Comunicación personal*.
28. Morales, R. 1994. *Desarrollo de un pan dulce portador de calorías, proteínas, vitamina A, hierro y otros micronutrientes*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 90pp.
29. Morton, S. 2003. *Functional Properties of Starches*. Chief, Agro-industries and post-harvest management service. 41: 1- 14. Recuperado de internet el 5 de marzo 2004: <http://www.fao.org/ag/ags/agsi/starch41.htm>
30. Pellet, P. & Vernon. Y. 1980. *Evaluación nutricional de alimentos proteínicos*. 2da edición. Universidad de las naciones unidas. INCAP, 175 pp.
31. Prera, Z. 2000. *Elaboración de una mermelada de fresa baja en calorías, apta para personas diabéticas*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 44pp.
32. Reyes, M. 2002. *Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor*. (Tesis) Universidad del Valle de Guatemala. 96pp.
33. Silva, M. 1992. *Utilización del frijo-arroz (*Phaseolus calcaratus*) para la elaboración de un producto con arroz (*Oryza sativa*) de mejor calidad proteica*. (Tesis) Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, INCAP. Guatemala. 102pp.
34. Sturgess, R., et al. 1991. *Cereal chemistry, molecular biology and toxicity in coeliac disease*. Gut 32: 1053 –1060. Recuperado de internet el 20 de febrero 2004: [http://www.csaceliacs.org/ceeliac\\_defined.php](http://www.csaceliacs.org/ceeliac_defined.php)
35. Torún, B., et al. 1994. *Recomendaciones dietéticas diarias del INCAP*. Guatemala: INCAP/OPS. 137 pp.
36. Urade, R., et al. 2003. *Functions of soy phosphatidylcholine in dough and bread supplemented with soy protein*. Journal of Food Science. Vol 68 No. 4: 1277-1282.
37. Van den Einde, R., et al. 2003. *Understanding Molecular Weight Reduction of Starch During Heating–shearing Processes*. Journal of Food Science. 68(8): 2396-2404.
38. Rashad, M & S. Moharib. 2003. *Effect of type and level of dietary fibre supplements in rats*. Grasas y aceites. Vol. 54 Fasc. 3, 277-284.

## XII. ANEXOS

## ANEXO No. 1: Análisis físicos

1. Dimensiones de los panes:

Mezcla	Altura (cm)	Volumen (1 cm <sup>3</sup> )	Peso (gr.)	Tamaño

2. Determinación de firmeza en pan ( Método Estándar AACCC 74-09)

a. Equipo:

Medidor de Textura TA-XT2  
Sonda cilíndrica de 25 mm.

b. Procedimiento:

1. Colocar los siguientes parámetros para el analizador de textura:

Modo: Fuerza en compresión  
Velocidad pre-ensayo: 1 mm/s  
Velocidad de ensayo: 1.7 mm/s  
Velocidad de post- ensayo: 10 mm/s  
Fuerza: 5 gr.

2. Calibrar el equipo.

3. Cortar 2 rodajas de pan de 12.5 mm de grosor.

4. Colocar las muestras de forma centrada bajo la sonda cilíndrica.

5. Realizar la prueba de compresión.

## ANEXO No. 2: Análisis químicos

1. Determinación del porcentaje de humedad ( AOAC No. 14.004, horno de aire): Una muestra de peso conocido de masa constante. Se asume que la pérdida de peso se debe o equivale a la pérdida del contenido de humedad del alimento.

a. Equipo:

- Crisoles.
- Horno de aire (101 – 105 °C)
- Desecadora
- Balanza analítica.

b. Procedimiento:

- Lavar y secar los crisoles en horno o mechero por 30 minutos a 100 °C, enfriar desecadora y tararlos cuando lleguen a temperatura ambiente.
- Pesar 1 gramo de muestra en el crisol previamente tarado.
- Secar el crisol con la muestra en horno a 130 + 3 °C un mínimo de 2 horas ó hasta llegar a masa constante (aproximadamente 5 horas).
- Remover del horno y colocar en desecadora hasta que alcance temperatura ambiente.
- Pesar crisoles en balanzas y calcular el porcentaje de humedad. Reporte el residuo de harina como sólidos totales y la pérdida de peso como humedad:

$$\% H = (\text{pérdida de peso} / \text{peso de muestra}) * 100$$

$$\% \text{ sólidos} = 100 - \% \text{ humedad.}$$

2. Determinación del porcentaje de cenizas ( AOAC No. 14006, método directo): Es un método utilizado para determinar el contenido de minerales por el residuo inorgánico que queda después de la incineración de la materia orgánica.

a. Equipo:

- Crisoles.
- Mufla (550 °C)
- Desecadora
- Balanza analítica.
- Pinzas
- Estufa.

b. Procedimiento:

- Secar crisol por 2 horas a 100 °C en horno y luego pasar a desecadora hasta que llegue a temperatura ambiente. Tararlo.
- Pesar 1 gramo de muestra en el crisol previamente tarado.
- Calentar crisoles en estufa o mechero hasta que la muestra se carbonice y no saque humo, y luego colocarlos en la mufla a 550°C hasta que se obtengan cenizas grises claras o peso constante.
- Remover de la mufla y colocar en desecadora hasta que alcance temperatura ambiente.
- Pesar crisoles en balanza y calcule el porcentaje de cenizas:

$$\% \text{ cenizas} = (\text{peso de cenizas} / \text{peso de muestra}) * 100$$

3. Determinación del porcentaje de grasa ( AOAC No, 14.018, extracto etéreo):

a. Equipo:

- Extractor y frascos Soxhlet.
- Baño de agua.
- Condensador de reflujo.
- Balanza analítica.
- Horno.
- Papel filtro.
- Éter de petróleo.
- HCL concentrado.
- Muestra de determinación de %H.

b. Procedimiento:

- Armar el extractor Soxhlet con condensador de reflujo y frasco de destilación que ha sido previamente tarado y secado.
- Pesar 2 a 3 gramos de muestra y colocarla en el tubo de extracción. Agregar éter hasta la marca en el frasco de extracción.
- Verificar que todo esté apretado y colocar el calentador eléctrico ajustando el calor para que el solvente ebulle suavemente. El período de extracción es de 4 – 16 horas.
- Secar el extracto por 30 minutos a 100 °C, enfriar y pesar.

$$\% \text{ grasa} = (\text{pérdida peso} / \text{peso de muestra}) * 100$$

#### 4. Determinación del porcentaje de proteína ( AOAC, No. 14.026, Kjeldahl):

##### a. Equipo:

- Balones Kjeldahl ( 100 ml)
- Unidad destiladora Labconco
- Digestor Labconco
- Balanza analítica.
- Bureta.
- Agitadores magnéticos
- Probetas.
- Sulfato de sodio, anhídrido
- Óxido de Hg.
- Ácido sulfúrico
- Ácido bórico al 4%.
- NaOH 10 N o al 40%.
- Tiosulfato de sodio al 8%
- HCL 0.1N
- Rojo de metilo

##### b. Procedimiento:

##### Digestión:

- Pesar 0.2 gramos de muestra y verterlos en balón de digestión.
- Agregar al balón: 1.5 gramos de NaSO<sub>4</sub> anhídrido, 0.1 óxido de Hg y 3 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Colocar balón de digestión en digestor por aproximadamente 30 minutos. Hasta obtener una solución clara.
- Dejar enfriar y trasvasar la muestra al matraz de destilación diluyéndola con agua destilada.

##### Destilación:

- Colocar un beaker con 10 ml de ácido bórico y 3 gotas de indicador rojo de metilo en la salida del condensador de la unidad destiladora.
- Agregar al matraz destilador 13 ml NaOH y 5 ml de tiosulfato de sodio.
- Conectar el reflujo y destilar hasta obtener un volumen aproximadamente 80 ml de destilado.
- Remover beaker receptor de la unidad de destilación.

##### Titulación:

- Titular con la solución del beaker receptor con HCL (0.1N) hasta que haya un cambio de color.
- Calcular el contenido de N y de proteínas de la siguiente forma:

$\% N = ( \text{vol std. HCl} * \text{normalidad HCl} * 0.014) / \text{peso de muestra} ) * 100$   
 $\% \text{ proteínas} = \% N * \text{factor de conversión para cada muestra}$

5. Determinación de fibra dietética: (Sigma-Aldrich basado en AOAC No. 45.4.07, 16 edición). Este método determina la fibra dietética total de un alimento combinando métodos gravimétricos y enzimáticos. Las muestras son gelatinizadas con alfa-amilasas y luego digeridas enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para remover la proteína y almidón presente en la muestra. Se agrega etanol para precipitar la fibra dietética soluble. El residuo es filtrado y lavado con etanol y acetona. Luego de secado, el residuo es pesado. La mitad de las muestras se analiza para proteína y las otras para cenizas. La fibra dietética es el peso del residuo menos el peso de la proteína y ceniza.

a. Equipos y reactivos

- Crisol de porosidad #2.
- Vacío.
- Horno de aire o vacío.
- Desecadora
- Mufla
- Baño de agua
- Termómetro
- Balanza analítica.
- pH metro
- Beakers.
- Papel aluminio
- Alfa-amilasa
- Proteasa
- Amiloglucosidasa
- Celite
- Éter de petróleo.
- Etanol 98% y 78%
- Acetona
- NaOH, 0.275N
- HCl 0.325 M
- Fosfato de sodio dibásico, anhídrido.
- Fosfato de sodio monobásico, anhídrido.

b. Procedimiento.

1. Lavar los crisoles, secarlos a 525 C y enfriar. Agregar 0.5 gramos de Celite y secar a 130 C hasta que sea una masa constante (aproximadamente 1 hora). Anotar el peso del crisol + celite como peso
2. Pesar 4 muestras de 1 g y colocarlos en beakers altos.
3. Agregar 50 ml de buffer fosfato pH 6 y 0.1 ml de alfa-amilasa a cada beaker.

4. Cubrir cada beaker con papel aluminio y colocarlos en baño de agua hirviendo. Agitar los beakers a intervalos de 5 minutos. Incubar por 15 minutos después que la temperatura interna llegue a 95 C.
5. Dejar enfriar las soluciones a temperatura ambiente.
6. Ajustar el pH de las soluciones a 7.5 + 0.2 agregando 10 ml de NaOH 0.275 N a cada beaker.
7. Preparar una solución 50 mg/ml de proteasa y agregar 0.1 ml de la misma a cada beaker.
8. Cubrir cada beaker con papel aluminio y colocarlos en baño e agua hirviendo. Agitar los beakers continuamente. Incubar por 30 minutos después interna llegue a 60 C.
9. Deje enfriar las soluciones a temperatura ambiente.
10. Ajustar el pH de las soluciones a 4 – 4.6 agregando 10 ml de HCl 0.325 M a cada beaker.
11. Agregar 0.1 ml de amiloglucosidasa a cada beaker.
12. Cubrir cada beaker con papel aluminio y colocarlos en baño de agua hirviendo. Agitar los beakers continuamente. Incubar por 30 minutos después que la temperatura interna llegue a 60 C.
13. Agregar 4 volúmenes de etanol al 95% a cada beaker y dejarlos reposar durante la noche para permitir la precipitación completa.
14. Armar aparato de filtración con los crisoles previamente tarados. Transfiera el precipitado y la suspensión de cada beaker a su crisol respectivo. Lavando el residuo con 3 porciones de 20 ml de etanol al 78%, dos porciones de 10 ml etanol al 95% y dos porciones de 10 ml de acetona.
15. Secar los crisoles durante la noche en horno de aire a 105 C o en horno de vacío a 70 C.
16. Enfriar crisoles en desecadora y pesarlos, anotar este dato como peso 2.
17. Analice los residuos de dos muestras y dos blancos para proteínas utilizando el método de Kjeldahl.
18. Analice los residuos de dos muestras y dos blancos para cenizas, anotar la masa de los crisoles como peso 3.
19. Realizar los cálculos:

Residuo = R = Peso 2 – peso 1

Cenizas = C = Peso 3 – Peso 1

Blanco = B = R Blanco – proteínas blanco – C blanco

% fibra dietética total = %FDT = ( R muestra – proteína muestra – C muestra – B) \*100/ promedio de peso de la muestra.

6. Determinación del porcentaje de carbohidratos totales ( método de diferencia).

#### a. Procedimiento

Con éste método se calcula el porcentaje de carbohidratos a partir de las otras fracciones del análisis proximal.

% Carbohidratos = 100 – (% humedad + % cenizas + % grasa + % proteína)

## ANEXO No. 3: Evaluación sensorial

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Sírvase degustar las dos muestras de pan que se le presentan, empezando con la muestra de la izquierda. Marque con una cruz o con un círculo el número de la muestra que usted prefiere. Debe escoger una muestra aunque no esté seguro. Indique sus respuestas a continuación.

150

143

Comentarios:

---

---

---

¡Muchas Gracias!

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Sírvase degustar las dos muestras de pan que se le presentan, empezando con la muestra de la izquierda. Marque con una cruz o con un círculo el número de la muestra que usted prefiere. Debe escoger una muestra aunque no esté seguro. Indique sus respuestas a continuación.

150

143

Comentarios:

---

---

---

¡Muchas Gracias!

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Sírvese degustar la muestra de pan que se le presenta. Marque con una cruz o con un círculo a la carita que represente la característica a evaluar. Indique sus comentarios después de cada pregunta.

## EVALUACION SENSORIAL

1. ¿Qué opina sobre el sabor?



Comentario \_\_\_\_\_

2. ¿Qué opina sobre el olor?



Comentario \_\_\_\_\_

3. ¿Qué opina sobre el color?



Comentario \_\_\_\_\_

4. ¿Qué opina sobre la esponjosidad?



Comentario \_\_\_\_\_

ANEXO No. 4: Hoja de recolección de datos para estudio con ratas.



ANEXO No. 5: Resultados de los análisis de NPR y de digestibilidad del estudio biológico.

Proteína de las dietas de pan de maíz y combinaciones  
 Estudio hecho del 21/04/2005 al 05/05/2005

Muestra	peso	ml HCl	Nitrógeno	Media Nitrógen	Proteína	Media	Desv.est
Pan de maiz + amaranto	0.2464	2.70	1.53	1.55	9.59	9.71	0.17
	0.2581	2.90	1.57		9.83		
Pan de maiz	0.2476	2.60	1.47	1.48	9.19	9.23	0.06
	0.2546	2.70	1.48		9.28		
Pan de trigo	0.2488	2.60	1.46	1.49	9.14	9.34	0.27
	0.2480	2.70	1.52		9.53		
Caseína	0.2607	3.20	1.72	1.72	10.74	10.73	0.01
	0.2529	3.10	1.72		10.73		
DLN	0.2556	0.20	0.11	0.14	0.68	0.85	0.24
	0.2580	0.30	0.16		1.02		

## 1era semana

Dieta	No. De rata	Peso inicial (21/04)	Peso (28/04)	Aumento de peso	Promedio	Desviación std	Alimento dado	Alimento sobrante	Alimento ingerido	Promedio	Desviación std
Pan de maiz + amaranto	R1	50	60	10	11.25	2.76	100	50	50	53.75	7.76
	R2	46	54	8			100	61	39		
	R3	46	56	10			100	51	49		
	R4	46	63	17			100	37	63		
	R5	50	60	10			100	40	60		
	R6	46	56	10			100	47.5	52.5		
	R7	46	59	13			100	41	59		
	R8	44	56	12			100	42.5	57.5		
Pan de maiz	R1	48	57	9	7.88	2.42	100	42	58	53.81	4.33
	R2	46	55	9			100	43.5	56.5		
	R3	46	53	7			100	52	48		
	R4	46	57	11			100	40.5	59.5		
	R5	48	56	8			100	47.5	52.5		
	R6	46	50	4			100	48.5	51.5		
	R7	46	51	5			100	51.5	48.5		
	R8	44	54	10			100	44	56		
Pan de trigo	R1	48	53	5	3.50	1.31	100	54.5	45.5	43.13	4.23
	R2	46	51	5			100	54.5	45.5		
	R3	46	50	4			100	55.5	44.5		
	R4	46	49	3			100	60.5	39.5		
	R5	48	51	3			100	61.5	38.5		
	R6	46	50	4			100	51	49		
	R7	46	47	1			100	63	37		
	R8	44	47	3			100	54.5	45.5		
Caseína	R1	48	97	49	36.38	6.28	100	8.5	91.5	76.50	8.63
	R2	46	82	36			100	19	81		
	R3	46	82	36			100	24.5	75.5		
	R4	46	80	34			100	28	72		
	R5	48	84	36			100	24.5	75.5		
	R6	46	84	38			100	20	80		
	R7	46	82	36			100	24.5	75.5		
	R8	44	70	26			100	39	61		
DLN	R1	48	45	-3	-4.875	1.13	100	45	55	38.00	8.46
	R2	46	40	-6			100	68.5	31.5		
	R3	46	41	-5			100	64	36		
	R4	46	41	-5			100	70.5	29.5		
	R5	48	42	-6			100	67	33		
	R6	46	42	-4			100	55	45		
	R7	46	40	-6			100	60	40		
	R8	44	40	-4			100	66	34		

## 2a semana

Dieta	No. De rata	Peso (28/04)	Peso (05/05)	Aumento de peso	Promedio	Desviación std	Alimento dado	Alimento sobrante	Alimento ingerido	Promedio	Desviación std
Pan de maiz + amaranto	R1	60	64	4	7.38	2.50	140	99.5	40.5	53.81	8.33
	R2	54	57	3			140	75	65		
	R3	56	65	9			140	90.5	49.5		
	R4	63	72	9			140	81.5	58.5		
	R5	60	68	8			140	82.5	57.5		
	R6	56	66	10			140	79	61		
	R7	59	67	8			140	95	45		
	R8	56	64	8			140	86.5	53.5		
Pan de maiz	R1	57	64	7	6.75	1.39	140	77	63	55.13	13.85
	R2	55	64	9			140	86	54		
	R3	53	58	5			140	97.5	42.5		
	R4	57	63	6			140	94	46		
	R5	56	61	5			140	75.5	64.5		
	R6	50	57	7			140	96	44		
	R7	51	58	7			140	95	45		
	R8	54	62	8			140	58	82		
Pan de trigo	R1	53	56	3	3.25	2.71	140	92	48	49.06	7.70
	R2	51	55	4			140	79	61		
	R3	50	51	1			140	89	51		
	R4	49	50	1			140	104	36		
	R5	51	51	0			140	96	44		
	R6	50	56	6			140	87	53		
	R7	47	50	3			140	85	55		
	R8	47	55	8			140	95.5	44.5		
Caseína	R1	97	139	42	40.13	4.91	140	48.5	91.5	88.50	7.56
	R2	82	128	46			140	47.5	92.5		
	R3	82	124	42			140	49	91		
	R4	80	124	44			140	56	84		
	R5	84	122	38			140	44	96		
	R6	84	125	41			140	47	93		
	R7	82	120	38			140	52	88		
	R8	70	100	30			140	68	72		
DLN	R1	45	42	-3	-2.38	0.52	140	91	49	30.00	9.07
	R2	40	37	-3			140	117	23		
	R3	41	38	-3			140	118	22		
	R4	41	39	-2			140	115	25		
	R5	42	40	-2			140	114	26		
	R6	42	40	-2			140	104	36		
	R7	40	38	-2			140	107	33		
	R8	40	38	-2			140	114	26		

NPR. Estudio hecho del 21/04/2005 al 5/05/2005

Dieta	No. Rata	Peso inicial (g) (22/04)	Peso final (g) (06/05)	Aumento de Peso (g)	Prom. (g)	Desv. Std.	Alimento dado total (g)	Alimento sobrante total (g)	Alimento ingerido (g)	Prom. (g)	Desv. Std.	Prom. % Prot. dieta	Prot. ingerida	Prom. Prot Ingerida	Desv. Std.	NPR	Prom. NPR	Desv. Std.
Pan de maiz + amaranto	R1	50	64	14	18.63	4.53	240	149.5	90.5	107.56	10.27	9.71	8.79	10.44	1.00	2.42	2.48	0.34
	R2	46	57	11			240	136	104				10.10			1.81		
	R3	46	65	19			240	141.5	98.5				9.56			2.74		
	R4	46	72	26			240	118.5	121.5				11.80			2.82		
	R5	50	68	18			240	122.5	117.5				11.41			2.21		
	R6	46	66	20			240	126.5	113.5				11.02			2.47		
	R7	46	67	21			240	136	104				10.10			2.80		
	R8	44	64	20			240	129	111				10.78			2.53		
Pan de maiz	R1	48	64	16	14.63	2.92	240	119	121	108.94	16.16	9.23	11.17	10.06	1.49	2.08	2.19	0.23
	R2	46	64	18			240	129.5	110.5				10.20			2.47		
	R3	46	58	12			240	149.5	90.5				8.36			2.30		
	R4	46	63	17			240	134.5	105.5				9.74			2.49		
	R5	48	61	13			240	123	117				10.80			1.87		
	R6	46	57	11			240	144.5	95.5				8.82			2.07		
	R7	46	58	12			240	146.5	93.5				8.63			2.23		
	R8	44	62	18			240	102	138				12.74			1.98		
Pan de trigo	R1	48	56	8	6.75	3.11	240	146.5	93.5	92.19	9.94	9.34	8.73	8.61	0.93	1.75	1.62	0.29
	R2	46	55	9			240	133.5	106.5				9.94			1.63		
	R3	46	51	5			240	144.5	95.5				8.91			1.37		
	R4	46	50	4			240	164.5	75.5				7.05			1.60		
	R5	48	51	3			240	157.5	82.5				7.70			1.33		
	R6	46	56	10			240	138	102				9.52			1.81		
	R7	46	50	4			240	148	92				8.59			1.31		
	R8	44	55	11			240	150	90				8.40			2.17		
Caseina	R1	48	139	91	76.50	9.89	240	57	183	165.00	15.18	10.73	17.08	15.40	1.42	5.75	5.43	0.28
	R2	46	128	82			240	66.5	173.5				16.20			5.51		
	R3	46	124	78			240	73.5	166.5				15.54			5.48		
	R4	46	124	78			240	84	156				14.56			5.85		
	R5	48	122	74			240	68.5	171.5				16.01			5.08		
	R6	46	125	79			240	67	173				16.15			5.34		
	R7	46	120	74			240	76.5	163.5				15.26			5.32		
	R8	44	100	56			240	107	133				12.42			5.09		
DLN	R1	48	42	-6	-7.25	1.16	240	136	104	68.00	17.32	0.85	0.89	0.58	0.15	1.41	-0.22	2.12
	R2	46	37	-9			240	185.5	54.5				0.46			-3.77		
	R3	46	38	-8			240	182	58				0.49			-1.52		
	R4	46	39	-7			240	185.5	54.5				0.46			0.54		
	R5	48	40	-8			240	181	59				0.50			-1.49		
	R6	46	40	-6			240	159	81				0.69			1.81		
	R7	46	38	-8			240	167	73				0.62			-1.21		
	R8	44	38	-6			240	180	60				0.51			2.45		

Dietas de panes de maiz y combinacion			Dietas control		
Ingredientes	Dietas g/2000g		Ingredientes	Dietas g/2000g	
	1	2		3	4
Pan maiz +am	1600	---	Pan de trigo	1740	---
Pan de maiz	---	1800	Caseina	---	236
Minerales	80	80	Almidón	60	1564
Aceite	100	100	Minerales	80	80
Vitaminas	20	20	Aceite	100	100
Almidón maiz	200	0	Vitaminas	20	20
<b>Total</b>	2000	2000	<b>Total</b>	2000	2000

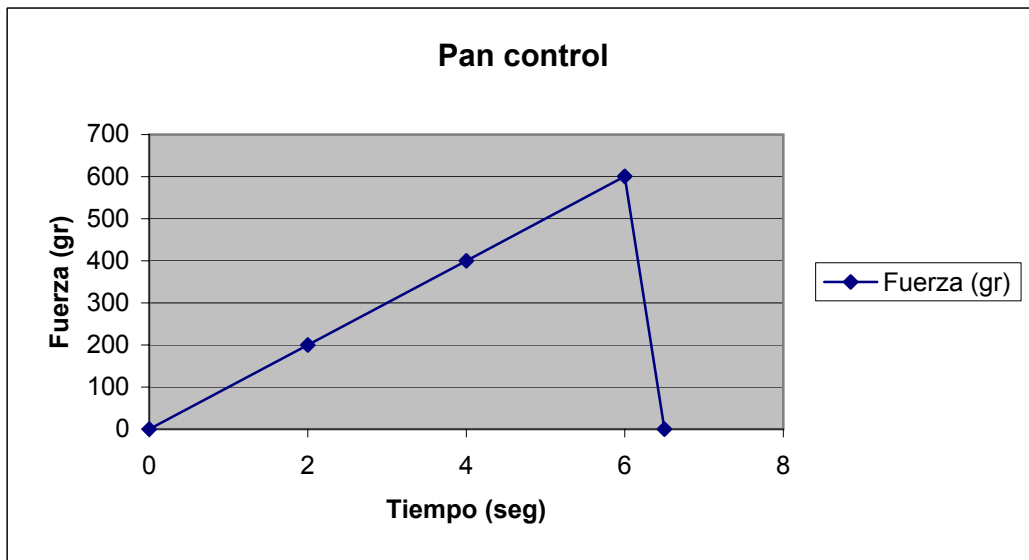


ANEXO No. 6: Gráficas de textura de los diferentes panes.

# Gráficas de textura

Gráfica No. 1: Pan control

Tiempo (seg)	0	2	4	6	6.5
Fuerza (gr)	0	200	400	600.8	0



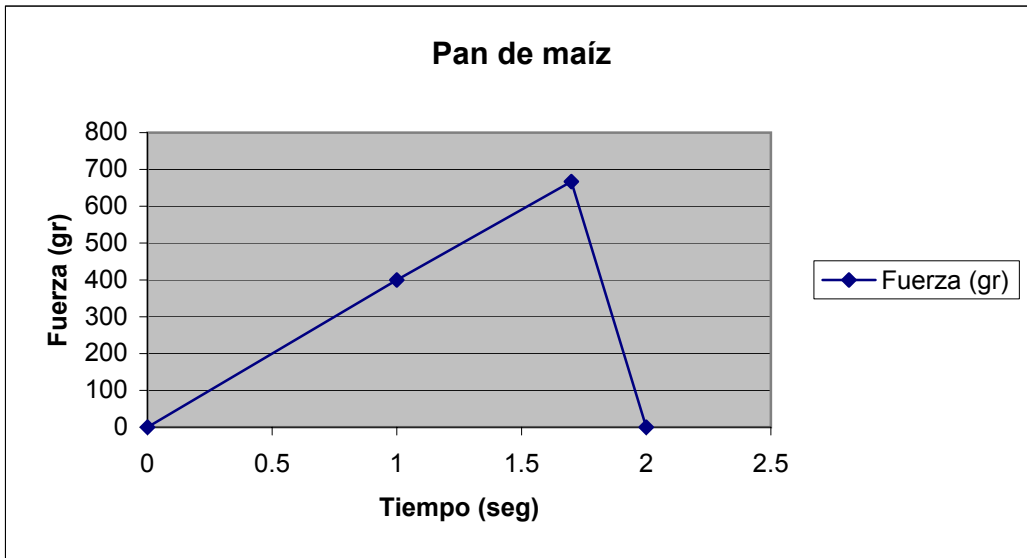
Gráfica No. 2: Pan maíz y amaranto

Tiempo (seg)	0	0.5	1	1.5
Fuerza (gr)	0	310	674.8	0



Gráfica No. 3: Pan de maíz

Tiempo (seg)	0	1	1.7	2
Fuerza (gr)	0	400	667	0



Gráfica No. 4: Pan francés

Tiempo (seg)	0	8	10	12
Fuerza (gr)	0	358.5	180	0

