

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



*Excelencia que trasciende*

Facultad de Ingeniería

Composición química, valor nutricional y  
desarrollo de productos de harinas de flor, tallo y tronco de brócoli

Mariana Valenzuela Amézquita

Guatemala

2010



Composición química, valor nutricional y  
desarrollo de productos de harinas de flor, tallo y tronco de brócoli

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



Facultad Ingeniería

Composición química, valor nutricional y  
desarrollo de productos de harinas de flor, tallo y tronco de brócoli

Trabajo de Investigación presentado por  
Mariana Valenzuela Amézquita  
para optar al título de Ingeniería en Ciencias de Alimentos

Guatemala

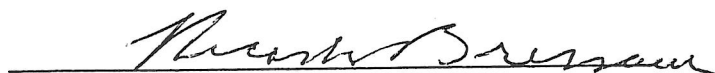
2010

Vo. Bo.:



Dr. Ricardo Bressani

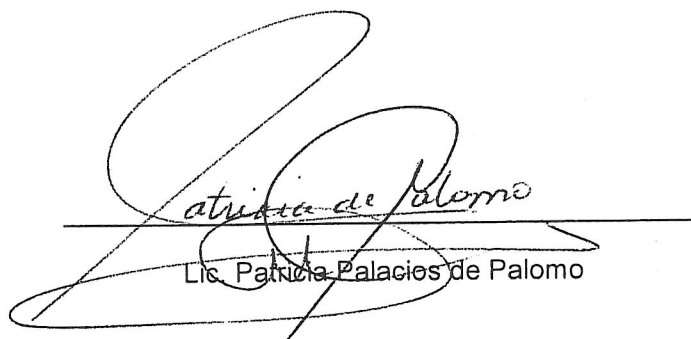
Tribunal:



Dr. Ricardo Bressani



Lic. Ana Silvia Colmenares de Ruiz



Lic. Patricia Palacios de Palomo

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de Diciembre de 2010

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTAS DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE APÉNDICES.....	x
RESUMEN.....	xi

### **Capítulos**

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
III. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES .....	4
A. Definición y generalidades del brócoli.....	4
B. Composición del brócoli.....	5
C. Producción.....	9
D. Propiedades del brócoli .....	10
E. Deshidratación.....	11
F. Escaldado .....	13
G. Evaluación sensorial .....	14
H. Harinas compuestas .....	15
I. Harina de trigo .....	17
J. Propiedades de funcionalidad.....	18
K. Estudios con brócoli.....	19
L. Análisis de vida de anaquel acelerada.....	20
IV. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	22
A. Metodología .....	22
1. Obtención de muestra. ....	22

2.	Cortado.....	22
3.	Escaldado.....	22
4.	Deshidratación. ....	22
5.	Molienda.....	22
6.	Análisis fisicoquímicos.....	22
7.	Características funcionales. ....	23
8.	Evaluación biológica.....	23
9.	Elaboración de productos.....	23
10.	Análisis sensorial.....	23
11.	Vida de anaquel. ....	24
V.	RESULTADOS .....	25
A.	Estudio de deshidratación .....	25
B.	Análisis químicos proximales .....	25
C.	Análisis de funcionalidad.....	26
1.	Densidad .....	26
2.	Tamaño de partícula.....	28
3.	Absorción de agua .....	29
4.	Absorción de aceite .....	30
5.	Textura .....	30
D.	Vida de anaquel.....	32
E.	Análisis sensorial.....	32
F.	Análisis biológico .....	34
VI.	DISCUSIÓN .....	36
VII.	CONCLUSIONES.....	50
VIII.	RECOMENDACIONES .....	50
IX.	BIBLIOGRAFÍA .....	51
X.	APÉNDICES.....	55
A.	Procesos con fotos .....	56

B. Dietas.....	61
C. Composición en los productos.....	62
D. Tendencia de los parámetros de vida de anaquel.....	64
E. Cálculo de vida de anaquel.....	65

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Producción, exportación y desperdicio de brócoli .....	1
2. Diez mejores países de producción de brócoli .....	2
3. Composición nutricional del brócoli .....	5
4. Aminoácidos en el brócoli.....	6
5. Tabla de referencia de aminoácidos de la FAO .....	6
6. Producción y rendimiento del brócoli.....	9
7. Kilogramos netos de brócoli exportados.....	9
8. Harinas compuestas.....	16
9. Composición nutricional de harina de trigo todo uso.....	17
10. Aminoácidos en el trigo .....	18
11. Análisis proximal de la flor (g/100g) .....	25
12. Análisis proximal del tallo (g/100g).....	26
13. Análisis proximal del tronco (g/100g).....	26
14. Densidad de cada parte .....	26
15. índice de absorción de agua y sólidos solubles .....	29
16. índice de absorción de aceite.....	30
17. Textura de las masas .....	31
18. Tiempo de vida de la harina de brócoli según cada parámetro .....	32
19. Preferencia.....	32
20. Porcentaje de aceptabilidad con “Me gusta muchísimo” .....	33

21.	Estudio biológico con trigo y tronco .....	34
22.	Estudio biológico con maíz y flor .....	34
23.	Estudio biológico con tronco y flor .....	35
24.	Dieta de maíz con flor de brócoli .....	61
25.	Dieta de harina de trigo y tronco de brócoli .....	62
26.	Recetas de productos.....	62

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Deshidratación de las tres partes .....	25
2. Relación entre ceniza y densidad .....	27
3. Relación entre proteína y densidad .....	27
4. Relación entre fibra y densidad .....	27
5. Relación entre grasa y densidad .....	28
6. Tamaño de partícula de harina de flor y tallo.....	28
7. Tamaño de partícula de harina de tronco .....	28
8. Tamaño de partícula de harina de trigo .....	29
9. Tamaño de partícula de harina de maíz .....	29
10. Textura de masa de maíz con flor .....	30
11. Textura de masa de maíz .....	30
12. Pegajosidad de harina de trigo con tronco .....	31
13. Pegajosidad de harina de trigo .....	31
14. Actividad de agua .....	32
15. Evaluación sensorial.....	33
16. Evaluación sensorial de croquetas .....	33
17. Evaluación sensorial de tamales .....	34
18. Flor .....	57
19. Tallo.....	57
20. Tronco .....	57
21. Cortado de flor .....	57
22. Flor cortada .....	58
23. Tallo cortado.....	58

24. Escaldadora.....	58
25. Proceso de escaldado de flor .....	58
26. Horno deshidratador .....	58
27. Deshidratación de flor y tallo .....	59
28. Molino de discos .....	59
29. Harina de flor .....	59
30. Harina de tronco .....	59
31. Grasa.....	60
32. Proteína .....	60
33. Fibra .....	60
34. Ratas Wistar .....	60
35. Peso aumentado.....	60
36. Galletas saladas .....	61
37. Croquetas .....	61
38. Tamal.....	61
39. Presentación para el panelista .....	61
40. Panelista.....	61
41. Incubadora.....	62
42. Producto almacenado.....	62
43. Color .....	64
44. Gráfica de Arrhenius de color .....	64
45. Olor.....	64
46. Gráfica de Arrhenius de olor.....	64
47. Sabor .....	64
48. Gráfica de Arrhenius de sabor .....	64

## LISTA DE APÉNDICES

A. Proceso con fotografías.....	57
B. Dietas .....	62
1. Dieta de harina de maíz con flor .....	62
2. Dieta de harina de trigo con tronco .....	62
C. Composición de los productos.....	63
D. Tendencia de vida de anaquel.....	64
E. Cálculo de vida de anaquel .....	65

## RESUMEN

En este trabajo se determinó la posibilidad de desarrollar productos hechos con harina de brócoli dentro del ámbito de harinas compuestas. Hay una serie de producción agrícola no autóctona que necesita ser estudiada más intensamente desde el punto de vista de la composición química y valor nutritivo. Entre estos materiales se encuentran varias leguminosas (como arveja china, habas, etc) como otra clase de verduras, entre las cuales se ha seleccionado el brócoli (*Brassica Oleracea*). Este vegetal se comercializa en Guatemala para fines de exportación y una cantidad razonable se queda en el país para el consumo interno y otras aplicaciones.

En este estudio, se prestó atención a lo que es la flor, el tallo y el tronco (descritas en la parte de Procesos con fotografías en Anexos) del brócoli. Estas muestras fueron analizadas por su composición química proximal, habiendo encontrado que en base seca contienen 32, 20 y 17% de proteína en la flor, tallo, y tronco respectivamente; y 11, 14 y 21% de fibra cruda respectivamente. Se deshidrataron muestras de estos tres subproductos con un tratamiento previo de escaldado y sin escaldar y luego se transformaron en harinas. Éstas fueron analizadas por sus características funcionales habiéndose encontrado relaciones positivas o negativas con los nutrientes en la composición química.

Con esta materia prima se prepararon diferentes productos convencionales en la mesa del consumidor guatemalteco para su degustación. Los productos fueron tamalitos (80% maíz y 20%flor), croquetas (80%papa y 20%tallo) y galletas (92%trigo y 8%tronco). Las pruebas sensoriales fueron en general satisfactorias, indicaron debilidades para corregir en el futuro.

Finalmente, la calidad proteica de las mezclas de harina de trigo con 4, 8 y 12% de harina de tronco de brócoli y mezclas de harina de maíz con 10 y 20% de flor fueron evaluadas por medio del método de Índice de Eficiencia Proteica. Los resultados indicaron que la adición de las harinas de brócoli a los cereales aumentan su calidad proteica sustancialmente, dando origen a harinas compuestas.

## I. INTRODUCCIÓN

El brócoli es un vegetal de la familia de las Crucíferas siendo el ancestro de de la coliflor. Proviene del nombre Brocco, que en italiano significa brotes. Su origen está ubicado en el Mediterráneo Oriental y en el Medio Oriente. Este vegetal posee muy buenas características nutritivas, los constituyentes principales son proteína, fibra dietética y carbohidratos. Es una fuente rica en minerales como potasio, fósforo, calcio y sodio. También provee vitaminas, especialmente vitamina C y ácido fólico, antioxidantes y compuestos quimiopreventivos. (Maroto *et al.*, 2007). El compuesto azufrado, sobretodo glucosinolato, se pierde en los tratamientos térmicos.

La industria guatemalteca se basa principalmente en la agricultura, donde la producción de brócoli es una parte de la misma. Gran parte de la producción se exporta, sin embargo, una gran cantidad no cumple con los parámetros de exportación por el color, tamaño, etc. Estas partes aún son aptas para ser consumidas y son desperdiciadas ya que se desechan sin algún uso. En Guatemala, hay mucha desnutrición, sobre todo infantil, en estudios, se han reportado que el 49% de los niños guatemaltecos sufren desnutrición crónica, y de estos, el 80% se debe a la mala alimentación. (Infolatam, 2010). Al estar desechando este tipo de productos se está desaprovechando un producto de alto valor nutritivo. A continuación se muestra una tabla con la producción y exportación del brócoli de Guatemala en cinco años

Tabla No.1: Producción, exportación y desperdicio de Brócoli

Año	Producción (Toneladas Métricas)	Exportaciones (Toneladas Métricas)	Producto no exportado (Toneladas Métricas)
2005	52,447.19	37,429.29	15,017.9
2006	59,755.04	48,125.81	11,629.23
2007	83,181.03	60,445.93	22,735.1
2008	89,989.44	72,705.42	17,284.02

(Maga, 2010)

Sin embargo, estas producciones son relativamente menores a las reportadas en otros países que se muestran a continuación

Tabla No.2: Diez mejores países de producción de brócoli

<b>País</b>	<b>Producción (toneladas)</b>
China	8,585,000
India	5,014,500
Estados Unidos	1,240,710
España	450,100
Italia	433,252
Francia	370,000
México	305,000
Polonia	277,200
Pakistán	209,000
Reino Unido	186,400

(FAO, 2008)

Las harinas compuestas son mezclas de harinas que se complementan en aspectos nutritivos. Son elaboradas para producir alimentos a base de trigo, u otros cereales y de otras fuentes de origen vegetal. (Elías, 2010) En este trabajo se analizó la posibilidad de aprovechar estos recursos para hacer harina de brócoli y así formar harinas compuestas, con el fin de complementar las proteínas y otros nutrientes de otras harinas, tal como es la de trigo, que se considera de mala calidad. Los productos realizados con estas harinas compuestas sería una ayuda para las personas que no comen vegetales ya que el consumo de estos es esencial para la alimentación.

## II. OBJETIVOS

### A. General:

Analizar las tres secuencias morfológicas, su composición química y nutricional de las harinas de brócoli para desarrollar productos de harinas compuestas con mejor valor nutritivo.

### B. Específicos:

Conocer la composición química y funcional de la parte vegetativa de tallos del brócoli.

Estudiar lo referente a la deshidratación de las tres partes.

Evaluar la calidad nutricional de los productos del brócoli solos y en combinación con trigo y otras harinas.

### III. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

#### A. Definición y generalidades del brócoli

El brócoli es un vegetal compacto de rápida floración que pertenece al género *Brassica Oleracea L var. italica.*, familia *Cruciferae* y se cree que es el ancestro de la coliflor (Salunkhe y Kadam 1995; Maroto *et al.*, 2007). El nombre brócoli se refiere a los pequeños brotes que se desarrollan en algunas especies del género *Brassica*, de hecho, Brocco, en italiano significa brotes. Su origen está ubicado en el Mediterráneo oriental y en el Próximo Oriente (Asia Menor, Líbano, Siria, etc.), (Maroto *et al.*, 2007).

La planta de brócoli está formada por una especie de cabeza que contiene brotes verdes y gruesos tallos que son parte de la flor carnosa. La gran masa de cabezas está rodeada de hojas. (Salunkhe y Kadam, 1995) Las partes comestibles principales son las llamadas inflorescencias, las cuales incluyen flores y brotes. (Campas *et al.*, 2009). La cabeza terminal es bastante más suelta y verde que el de la coliflor mientras que los tallos son más largos. El color de los brotes comestibles varía de blanco hasta verde dependiendo del cultivo. La mayoría de cultivos, cosechan cuando la planta todavía está inmadura. La inflorescencia está formada por brotes diferentes y es considerada una fruta de buena calidad si alcanza la etapa donde se observa que está más abierta. Ambos, la cabeza terminal y los brotes son consumidos como alimentos. (Salunkhe y Kadam, 1995)

Todas las crucíferas, especialmente el brócoli, poseen un sabor característico debido a la presencia de algún glucosinolato, concretamente isotiocianato de alilo y butilo entre otros. Entre estos compuestos el brócoli posee en cierta cantidad la glucorafanina, la cual es precursora del sulforafano y del indometil glucosinolato, al cual se le atribuyen propiedades anti cancerígenas.

## B. Composición del brócoli

La parte comestible del brócoli tiene un alto contenido de agua (88.2%) y es baja en grasa (0.9%). Otros constituyentes son proteínas (4.4%), fibra dietética total (2.60%) y carbohidratos (1.8%). Es una fuente rica en minerales como potasio, fósforo y vitaminas, especialmente la C. Es también una fuente importante de antioxidantes y de compuestos quimiopreventivos. (Campas *et al.*, 2009; Nestle, 1998)

La composición química del brócoli se parece a la de la coliflor y contiene muchos compuestos de sabor. A continuación se presenta una tabla con su composición nutritiva. (Salunkhe y Kadam1995)

Tabla No.3: Composición nutricional del brócoli

<b>Constituyente</b>	<b>Contenido en 100g de brócoli crudo</b>
Agua	88.2 g
Nitrógeno total	0.71 g
Proteína	4.4 g
Grasa	0.9g
Carbohidratos	1.8g
Valor energético	138Kj
Almidón	0.1g
Fibra dietética	2.6g
Sodio	8mg
Potasio	370mg
Calcio	56mg
Magnesio	22mg
Fósforo	87mg
Hierro	1.7mg
Cobre	0.02mg
Zinc	0.6 mg
Azufre	130mg
Cloro	100mg
Manganeso	0.2mg
Selenio	Trazas µg
Iodo	2 µg
Caroteno	575 µg
Vitamina E	1.3 mg
Tiamina	0.10mg
Riboflavina	0.06mg
Niacina	0.9mg
Vitamina B6	0.14mg
Folatos	90µg
Vitamina C	87mg

(Salunkhe y Kadam1995)

La tabla muestra que los componentes mayoritarios son agua, proteínas, carbohidratos, grasa, fibra dietética y nitrógeno total. Según la FAO la ingesta diaria recomendada de proteínas para hombres es de 56g y de 46g para mujeres; mientras que la de fibra total es de 25g. (FAO, 2009). Como se puede ver, este vegetal proporciona gran parte de lo recomendado. Se han presentado otras tablas donde los valores de la composición nutricional varían pero siempre está alrededor de estos datos presentados. La siguiente tabla muestra los aminoácidos en el brócoli.

Tabla No. 4: Aminoácidos en el brócoli

<b>Amino ácido</b>	<b>mg/gN</b>
Triptófano	67
Treonina	234
Isoleucina	270
Leucina	342
Lisina	316
Metionina	88
Fenilalanina	256
Tirosina	-
Valina	305
Arginina	350
Histidina	113

(FAO, 1970)

Tabla No. 5: Tabla de referencia de aminoácidos de la FAO

Aminoácido	Nivel sugerido	
	mg/g de proteína	mg/g de nitrógeno
Isoleucina	40	250
Leucina	70	440
Lisina	55	340
Metionina + cisteína	35	220
Fenilalanina + tirosina	60	380
Treonina	40	250
Triptófano	10	60
Valina	50	310
Total	360	2250

(FAO, 1981)

Los aminoácidos son las partes constitutivas de las proteínas. Se clasifican en dos grupos: esenciales y no esenciales. Los esenciales son los

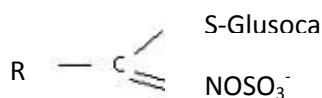
que el cuerpo no los puede producir y tienen que ser suministrados por los alimentos. Estos son valina (estimula el crecimiento y reparación de los tejidos, mantenimiento de diversos sistemas y balance de nitrógeno), lisina (interviene en crecimiento, reparación de tejidos, anticuerpos del sistema inmunológico y síntesis de hormonas), triptófano (crecimiento y producción hormonal), isoleucina (formación y reparación del tejido muscular), leucina (formación y reparación del tejido muscular), metionina (síntesis de proteínas), fenilalanina (producción de colágeno, formación de neurohormonas) y treonina (desintoxicación del hígado). Las fuentes de estos aminoácidos son leche, queso, huevos, carnes, verduras, nueces y granos. Los aminoácidos no esenciales son los que el cuerpo sí puede producir. El valor biológico de una determinada proteína se define por su capacidad de aportar todos los aminoácidos necesarios para los seres humanos. (Alimentación Sana, 2010). El sistema NuVal, índice de valor nutricional de los alimentos, califica al brócoli con 100 puntos ya que contiene grandes cantidades de nutrientes como vitaminas y proteínas. (The Guardian, 2008). Como se puede ver en la tabla, la mayoría de los aminoácidos esenciales en el brócoli se encuentran en grandes cantidades.

El brócoli contiene una gran cantidad de glucosinolatos, los cuales son compuestos sulfurados que son clasificados como fitoquímicos (no es nutriente pero da un beneficio a la salud) y están presentes en los vegetales *Brassica*. Los glucosinolatos son aniones y están presentes en las plantas generalmente como sales de potasio. La descomposición de su estructura genera propiedades sensoriales importantes como olor y sabor, además de crear inhibidores de cáncer. Una ingesta alta de glucosinolatos puede causar efectos tóxicos y desarrollo de bocio. (Salunkhe y Kadam 1995; Baik, 2003)

1. **Glucosinolatos.** Los glucosinolatos son hidrolizados en condiciones de humedad alta por la enzima presente llamada mirosinasa. Los productos de la hidrólisis son  $\beta$ -D-glucosa, sulfato y una fracción de aglucón. Dependiendo de las condiciones como pH, proteínas, etc., el aglucón es

transformado a compuestos de tiocianatos, isotiocianatos, nitrilos, cianidinas y ozazolidine-2-thiones. En el blanqueamiento en agua, los glucosinolatos se reducen significativamente. El rango del contenido de los glucosinolatos en el brócoli es de 72-212 mg/100g. (Salunkhe y Kadam1995) (Baik, 2003)

La estructura del glucosinato presente en los vegetales Brassica se presenta a continuación:



El nombre del glucosinato dependerá del grupo R que contenga.

A pesar de lo dicho previamente, en un estudio se encontró poca relación. Se encontró que 19 cultivos tenían diferente cantidad de glucosinolatos y tenían perfiles de sabor diferentes, aunque no hubo mucha evidencia en que el contenido de glucosinolatos influenciaba en el sabor. Además se encontró que el compuesto glucorafanina (80% de glucosinolatos totales y 90% de glucosinolatos alifáticos) fue el glucósido dominante en los cultivos, seguido por glucobrasinina, el glucosinato indol primario. El sabor y aroma se calificó en un rango de 0 (nada) a 15 (extremo). De los 19 cultivos, el rango de la intensidad del sabor estuvo debajo de 6, lo cual indica que hubo ausencia de sabores o aromas intensos. Se encontró que no eran dulces, ya que se obtuvo un rango de 1.86 a 4. La amargura en los crucíferos es una nota dominante, lo que afecta la reacción del consumidor. Se cree que se es provocada por progoitrina, un tipo de glucosinato, pero en este estudio no se encontró ninguna relación. Los principales atributos sensoriales que se encontraron fueron el aroma y sabor a brócoli cocido (por el compuesto metanotiol), el sabor a lechuga cocida (por el compuesto dimetil disulfuro), el aroma a maíz cocido (dimetil sulfuro), y el aroma y sabor verde. Se encontró que hay muy poca relación entre contenido de glucosinolatos y

el aroma y sabor del brócoli cocido. Este resultado coincide con un estudio previamente realizado en 1998. (Baik, 2003)

### C. Producción

En Guatemala, el promedio de la producción de los últimos seis años (2004-2009) ha sido de 74,167.25 toneladas métricas, y cada año se ve un aumento en el volumen producido. El rendimiento promedio de la producción en estos años es de 13.21 toneladas por hectárea. Los principales departamentos productores según el IV Censo Nacional Agropecuario son Chimaltenango (73%), Jalapa (24%), Huehuetenango, Sololá (2%), Baja Verapaz y Guatemala. (MAGA, 2009). Según Agexport, las exportaciones también aumentaron conforme los años fueron pasando. Los principales países a los que Guatemala exporta son El Salvador y Estados Unidos. (AGEXPORT, 2009). Se comercializa fresco o congelado, siendo este último el que más se exporta. (Campas, *et al.* 2009) A continuación se presenta un cuadro donde se observa la producción y la exportación.

Tabla No. 6: Producción y rendimiento del brócoli

<b>Año</b>	<b>Producción (Toneladas Métricas)</b>	<b>Rendimiento (Toneladas/Hectárea)</b>
2004	68,285.08	13.11
2005	52,447.19	13.02
2006	59,755.04	13.12
2007	83181.03	13.43
2008	89,989.44	13.39
2009	91,345.73	13.18

(MAGA, 2009)

Tabla No. 7: Kilogramos Netos de brócoli exportados

<b>Año</b>	<b>TOTAL</b>	<b>El Salvador</b>	<b>México</b>
2005	37,429,288.39	9,547,043.10	25,230,397.10
2006	48,125,805.21	10,921,316.87	33,008,216
2007	60,445,928.42	12,243,067.94	44,423,331.64
2008	55,919,602	11,686,267.25	55,907,995.

(MAGA, 2009)

Según algunos agricultores, durante el proceso, se estima que entre 45 y 50% de la producción inicial son desechados, y que los tallos son los

residuos de mayor cantidad. En el campo, cerca del 70% es descartado como restos de cultivo; parte de este residuo es utilizado sin tratamiento en comida de animales. La cantidad desechada varía de acuerdo a la temporada, pero la cantidad que puede llegar a desechar alcanza las 300,000 libras por semana. (Mora, *et al.* 2010) Muy poca información sobre la utilización de los residuos del brócoli ha sido extraída para poder aprovechar sus nutrientes. (Campas *et al.*, 2009)

#### **D. Propiedades del brócoli**

El Comité Nacional en Dietas, Nutrición y Cáncer recomendó el incremento de consumo de vegetales del género de *Brassica* para disminuir la incidencia de cáncer humano. Estudios epidemiológicos y experimentos con animales demuestran que estos vegetales contienen propiedades anti cancerígenas debido a la presencia de compuestos nutritivos y no nutritivos que inhiben el cáncer. Dos fitoquímicos que contienen azufre están presentes en el brócoli: S-metilcistein-sulfóxido y glucosinolatos. Numerosos estudios han demostrado que la hidrólisis de los glucosinolatos producen sustancias anti cancerígenas. (Salunkhe y Kadam 1995; Lee, 2005; Jeffrey, *et al.*, 2003)

Estudios preliminares realizados por Johns Hopkins sugieren que para reducir el riesgo de cáncer, se debe comer dos libras de brócoli o vegetales similares por semana. Ya que los brócolis inmaduros, cultivados bajo ciertas condiciones, contienen mayor cantidad de sulforafano que los maduros, teóricamente, se podría consumir solamente una libra a la semana para reducir el riesgo de cáncer. (D'Arcy, 2009)

Las células del cuerpo contienen una familia de enzimas de desintoxicación que neutralizan compuestos químicos que causan cáncer. Esta desintoxicación ocurre en el hígado e involucra dos enzimas que trabajan en "fases". Las enzimas de la Fase 1 neutraliza las toxinas, algunas de éstas se convierten en sustancias que son eliminadas inmediatamente y otras se convierten en sustancias intermediarias que son cancerígenas y no

son eliminadas. Las enzimas de la Fase 2 tratan las enzimas de la Fase 1 no eliminadas inactivando metabolitos, el producto final es desechado. La Fase 2 es crítica, si la Fase 1 funciona bien, pero la 2 no, la probabilidad de que aparezca la enfermedad del cáncer se incrementa. Es aquí donde el compuesto glucorafanina contenido en el brócoli es importante ya que es promotor de sulforafano y este inductor de las enzimas de la Fase 2. En estudios, se ha observado que los brócolis que tienen 3 días contienen de 20 a 50 veces la cantidad de compuestos químicoprotectores que los brócolis maduros. Desafortunadamente, para reducir sustancialmente el riesgo del cáncer, hay que consumir grandes cantidades de brócoli. (Kusnitz, 1957; D'Arcy, 2009; Nestlé, 1998)

## **E. Deshidratación**

La deshidratación es un proceso donde se elimina el agua para reducir la velocidad del crecimiento de microorganismos alteradores y detener reacciones químicas. Según el Departamento de Agricultura US los términos deshidratado y seco no son sinónimos, se considera deshidratado cuando un producto tiene menos o igual a 2.5% de agua, mientras que el producto seco tiene más de 2.5% de agua. (Barbosa y Vega, 1996; San Juan *et al.*, 2003; Maldonado y Pacheco, 2003)

Una ventaja que presenta la deshidratación es que, además de preservar los alimentos, reduce el costo de empaque, almacenamiento, manejo y transporte del producto. Esto reduce el peso y a veces el volumen. (Barbosa y Vega, 1996; Maldonado y Pacheco, 2003)

El primer estudio de deshidratación fue para vegetales, el cual data en 1800. Su desarrollo industrial se debió a las guerras alrededor del mundo. Las tropas británicas en la Guerra de Crimea recibieron vegetales deshidratados desde sus hogares; en la Primera Guerra Mundial alrededor de 4500 toneladas de vegetales deshidratados fueron enviados desde los Estados Unidos. En 1919, los productos que fueron procesados en Estados

Unidos eran ejotes, lechuga, zanahoria, apio, papa, espinaca, maíz dulce y mezclas de sopas. (Barbosa y Vega, 1996)

En el artículo que presentan Maldonado y Pacheco, se propone que al deshidratar el brócoli, el contenido de fibra aumenta considerablemente. En el estudio hicieron curvas de deshidratación de brócoli a 60, 70 y 80°C en un deshidratador de bandejas. La humedad inicial que encontraron fue de 92.1 para el brócoli; mientras que la humedad más baja fue de 4.3% en la harina obtenida. Durante el secado, se hizo un control de humedad para describir la presencia o ausencia de períodos de secado y para determinar la velocidad del mismo y la velocidad crítica (punto donde la humedad comienza a disminuir hasta ser constante. (Maldonado y Pacheco, 2003)

Haroldo Zaldívar, coordinador del área de manufacturas de la Asociación Guatemalteca de Exportadores (AGEXPORT) comentó que mucha de la producción de frutas y verduras en Guatemala no cumple las condiciones para ser exportada en fresco. Por lo tanto, la deshidratación de frutas, verduras y hasta carnes tiene un enorme potencial de desarrollo, porque no solo abre puertas de mercados en otros países, sino que es posible desarrollarla con poca inversión basada en tecnologías que generan la energía necesaria a partir del calor geotérmico por los rayos solares. Aunque no hay cifras significativas de demanda y oferta, las experiencias de las empresas confirman el crecimiento de este mercado. Entre otros proyectos, Luis Mérida, de Industrias de La Laguna, ha apostado por la energía geotérmica ya que montó una planta de deshidratación que procesa brócoli, miltomate, papa, zanahoria, espárragos y chile pimiento, entre otros. Según el empresario, el sistema es tan eficiente como el plan de utilizar energía solar. Además, del ahorro en utilizar estas energías, los alimentos deshidratados son sanos, nutritivos y duran más. La vida media de una fruta deshidratada es de dos años. Se requiere alrededor de 12 horas para deshidratar una fruta o un vegetal extrayéndoles un 88% del agua que poseen. (Dardón Byron, 2007)

## **F. Escaldado**

El escaldado es un tipo de tratamiento térmico aplicado a frutas y vegetales, que desactiva enzimas naturales. Es un proceso que involucra el calentamiento en agua o vapor por debajo de 100°C. Ya que las frutas y vegetales tienen distintas formas, tamaños y conductividad térmica, el tratamiento debe establecerse según estudios experimentales para cada uno. Mientras más grande es el producto, más tiempo se requiere para llegar al centro del mismo. (Murano, 2003)

Es necesario escaldar para inactivar todas las enzimas que puedan causar cambios en la coloración, sabor y aroma. También fija el color verde y remueve ciertos sabores indeseables comunes en los vegetales. El propósito del escaldado es preparar el producto para el siguiente paso del proceso. (Woodroof y Bor, 1975)

Cuando se aplica el escaldado, se deben esperar cambios asociados con procesamiento térmico. Estos cambios incluyen pérdida de turgencia en las células debido a la destrucción de la integridad de la membrana y a la degradación parcial de los polímeros de las paredes celulares. El congelamiento es otro proceso térmico que afecta las propiedades en vegetales que contienen hojas. Los datos que se han encontrado de estudios de varios autores no concuerdan, pero sí se ha llegado al acuerdo que los efectos por estos procesamientos térmicos se tienen que reducir al mínimo.

Estudios que se han hecho en zanahorias demuestran que al aplicar tratamientos antes de escaldar reduce la velocidad de degradación de textura. La pérdida de textura causada tanto por congelado como por escaldado implican daños por deshidratación, pérdida de goteo, fractura de tejidos y daños mecánicos por la formación de cristales de hielo durante el congelamiento. Varios estudios han demostrado que al aplicar tratamiento de calor aumenta el color verde de los vegetales, esto se debe a que se elimina el aire entre las células y de la superficie de los tejidos de la planta. (Olivera *et al.*, 2008)

Se realizó un estudio del efecto de algunos procesos sobre el contenido de glucosinolatos en vegetales crucíferos. Se estudió el efecto de escaldado, cocimiento y congelado en bruselas, coliflor y brócoli. Se encontró que se reducía de 2.7 a 30% el contenido de glucosinolatos, el cocimiento redujo de un 35.3 a 72.4%; mientras que no se notaron cambios significativos en los vegetales que fueron escaldados y congelados por 48 horas. Además. Se encontró que los vegetales que más contenido de glucosinolatos tienen son las bruselas y el brócoli. (Cieslik, 2005)

Olivera y coautores reportaron que el efecto de escaldado en bruselas causa una significativa pérdida de textura no importando el método ya que no hay mucha diferencia en los resultados. Con respecto al color, se encontró una mejora en el verdor de las muestras blanqueadas, mientras que en las congeladas por 8 meses se encontró una pérdida de color. Todos los tratamientos presentaron una pérdida en la luminosidad. El contenido total de clorofila no fue afectado significativamente por los tratamientos, pero se observó que el congelado afectó en menor proporción que el escaldado. Además se encontró que el tratado por calor incrementó la actividad antioxidante mientras que el congelamiento la disminuyó. El contenido de ácido ascórbico también disminuyó en el blanqueado con agua, mientras que el utilizado en microondas lo aumentó y en el congelado no se detectó algún cambio significativo. (Olivera et al., 2008)

## **G. Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial es la evaluación de todas las cualidades del producto percibidas por los sentidos del ser humano. Incluye la descripción de color, textura, sabor y aroma. (Murano, 2003)

Los métodos sensoriales se pueden usar para evaluar la calidad de un alimento. A los individuos que forman un jurado de prueba de alimentos se les pide que empleen sus sentidos de la vista, gusto, olfato, tacto y oído para evaluar el carácter de un alimento. Los objetivos de una prueba sensorial son de dos categorías generales. La primera se denomina prueba de aceptación

del consumidor y consiste en que el experimentador desea saber si el jurado prefiere un producto, o desea conocer la aceptación por el consumidor. La otra prueba se llama de diferencia o de discriminación y consiste en saber si hay alguna diferencia detectable entre las muestras o saber cuál es la diferencia entre las mismas. (Charley, 2002)

En la prueba de diferencia o discriminación se utiliza un pequeño grupo de jueces el cual indicará diferencias entre alimentos con las siguientes pruebas. De pares: se les da dos muestras y se les pide que indiquen más o menos del atributo a considerar. Triángulo: se les entrega tres muestras, dos iguales y una diferentes y se le pide que indique cuál es la diferente. Alternativamente se les puede pedir a los jueces que clasifiquen el alimento en una escala de 1 a 10 dependiendo del atributo a evaluar. (Charley, 2002)

En la prueba de aceptación del consumidor se necesita un gran número de individuos que representen a la mayoría del mercado. Se les pide que marquen en una escala de nueve puntos que abarca desde extremadamente agradable hasta extremadamente desagradable. (Charley, 2002)

## **H. Harinas compuestas**

El término de harinas compuestas nació en 1964, creado por la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación), cuando se reconoció la necesidad de buscar sustitutos de harina de trigo en países que no la producen. Harinas compuestas se refiere a mezclas elaboradas para producir alimentos a base de trigo, como pan, pastas y galletas. Pueden prepararse con otros cereales que no sea el trigo y de otras fuentes de origen vegetal, y pueden contener o no harina de trigo. Sobre esta base se describen dos clases de harinas compuestas: harina de trigo diluida y harinas compuestas que no contiene trigo. (Elías, 2010)

En las harinas de trigo diluidas, el trigo se sustituye hasta en 40%, y puede contener otros componentes. Se le puede adicionar una proteína

suplementaria. Las condiciones de procesamiento y el producto final obtenido son comparables a productos preparados a base de solamente trigo. Las harinas compuestas que no contienen trigo, están hechas de harinas de tubérculos y una proteína suplementaria, generalmente harina de soya en la proporción de 4 a 1. Estos productos son diferentes en características reológicas al compararlas con los productos a base de trigo. (Elías, 2010)

En 1975, el INCAP extendió el concepto de harinas compuestas para cubrir otro tipo de harinas que no fuera sólo a base de cereales y tubérculos. Se consideró incluir dentro del concepto de harinas compuestas dos grupos adicionales: un grupo representado por la adición de proteína suplementaria a los cereales en general; y el grupo formado por harinas compuestas a base de cereales, oleaginosas u otras. (Elías, 2010)

Las harinas compuestas de maíz, arroz más proteína suplementaria han sido diseñadas para mejorar el valor nutritivo de los alimentos consumidos por la población. Las materias primas consumidas deben tener tres características: que suplan los nutrientes deficientes en el alimento tradicional, que sean capaces de lograr este suplemento al ser agregadas en pequeñas cantidades; y que no alteren significativamente las propiedades físicas y organolépticas del alimento original. (Elías, 2010)

Tabla No. 8: Harinas compuestas

Tipos de Harinas compuestas		
<b>Pan, pastas, galletas</b>	<b>Alimentos populares a base de otros cereales</b>	<b>Sustituto de leche, extensores de alimentos de origen animal</b>
Harina de trigo + otras harinas	Harina de maíz, arroz, avena + proteína suplementaria	Combinación de harinas de cereales, leguminosas, oleaginosas y otros
Harina de trigo + otras harinas + proteína suplementaria	Harina de leguminosas y otras	
Harina de trigo + proteína suplementaria		
Raíces o tubérculos + proteína suplementaria		

(Elías, 2010)

## I. Harina de trigo

La harina de trigo posee constituyentes aptos para la formación de masas, pues la harina (gluten) y agua mezclados producen una masa consistente. Muchos productos son hechos a partir de harina de trigo, la cual es la harina principal en panificación. Otros productos en donde ésta es el ingrediente principal son pasteles, donas, galletas, masa de pie entre otros biscochos, muffins, panqueques, waffles, espagueti, pizza, etc. (Petryck, Norberto, 2010).

A continuación se presenta la composición nutricional de harina de trigo (todo uso), seguido por una tabla con el perfil de aminoácidos.

Tabla No.9: Composición nutricional de harina de trigo todo uso

<b>Nutriente</b>	<b>En 100 g de alimento</b>
Agua	11.92%
Energía	364 kcal
Proteína	10.33g
Grasa total	0.98g
Carbohidratos	76.31g
Fibra total	2.7g
Ceniza	0.47g
Calcio	15g
Fósforo	108g
Hierro	1.17g
Tiamina	0.12g
Riboflavina	0.04g
Niacina	1.25g
Potasio	107mg
Sodio	2mg
Zinc	0.7mg
Magnesio	22mg
Folato	26mcg
Vitamina B6	0.04mg

(INCAP, 2007)

Tabla No.10: Aminoácidos en el trigo

<b>Aminoácido</b>	<b>mg/g nitrógeno</b>
Triptófano	-
Treonina	183
Isoleucina	204
Leucina	417
Lisina	179
Metionina	94
Cisteína	159
Fenilalanina	282
Tirosina	187
Valina	276
Arginina	288
Histidina	143
Alanina	226
Ácido aspártico	308
Ácido Glutámico	1866
Glicina	245
Prolina	621
Serina	287
Total de amino ácidos esenciales	2049

(FAO, 1970)

Como se puede ver en el perfil de aminoácidos, el trigo no contiene proteínas de buena calidad, ningún aminoácido esencial se encuentra en grandes cantidades.

## **J. Propiedades de funcionalidad**

La absorción de agua es la cantidad de agua absorbida por la harina para producir una masa de una consistencia trabajable. Está determinada por la cantidad de proteína contenida en la harina, cantidad de almidón y de la presencia de carbohidratos no almidonosos. En harinas para hacer pan, es deseable que se tenga una alta capacidad de absorción a condiciones normales de trabajo, para que así, se tenga un rendimiento alto. (Wujun, *et al*, 2007).

Los problemas más grandes en la masa de panadería es la pérdida de calidad durante el almacenamiento. Esto se debe a factores como el incremento de pérdida de líquido y el decremento en la retención de CO<sub>2</sub>. Estos problemas causan que el producto no sea aceptado por el consumidor.

Por esta razón, es importante la capacidad de retención de agua de la harina. (Hua-Neng, *et al*, 2009)

### **K. Estudios con brócoli**

En otro estudio se estudió la composición bioquímica y las propiedades fisicoquímicas de tres harinas de brócoli obtenidas de desechos de flores, tallos y hojas. Las tres partes del brócoli se deshidrataron a 60°C, se hicieron harinas y a éstas se les analizó la composición química proximal, perfil de aminoácidos, composición de ácidos grasos y sus propiedades fisicoquímicas. Como resultados se obtuvo que la harina de flor de brócoli fue la que mayor contenía proteína (22.41g/100g); el contenido de ceniza fue mayor en la harina de hoja de brócoli (14.67g/100g) y que el contenido graso fue similar entre las harinas de las hojas y del tallo. La harina de tallo tuvo alto contenido de fibra dietética y poco contenido de proteína. Todas las harinas presentaron un alto índice de absorción de agua, sin embargo, la harina de tallo fue la que mayor absorción presentó, incluso fueron mayores que la absorción de harinas de leguminosas y cereales. Además, se encontró que los tallos tenían mayor humedad, seguido por las flores y por último las hojas. El contenido de humedad, proteína, ceniza y lípidos dependen del tipo y estado de madurez del brócoli. La harina de flor de brócoli fue la más soluble y se pudo deber al cambio estructural durante el secado. La harina de hojas fue la más fina ya que tuvo el tamaño de partícula más pequeño, seguido por el de flor y por último del tallo. El pH fue similar en todas las harinas. Se encontraron quince aminoácidos, de los cuales tirosina, ácido aspártico, ácido glutámico valina y prolina fueron los que se encontraron en mayor concentración. Los ácidos grasos más abundantes encontrados en todas las harinas fueron ácido linolénico, palmítico y linoleico. A partir de los resultados, se pudo concluir que hacer harinas con residuos de brócoli es una buena alternativa para desarrollar nuevos productos. (Campas *et al.*, 2009)

Paul Talalay, profesor de farmacología, realizó un estudio utilizando extractos de brotes de brócoli para alimentar a un grupo de 20 ratas hembras por cinco días. A este grupo y a un grupo control que no recibió esta

alimentación las expuso a un cancerígeno. Las ratas del grupo experimental desarrollaron menos tumores que las del control (60% menos), las que sí desarrollaron, lo hicieron de menor tamaño (75% más pequeño) y en un tiempo más prolongado. (Kusinitz, 1957; D'Arcy, 2009)

#### **L. Análisis de vida de anaquel acelerada**

El análisis de vida de anaquel acelerada es un método rápido para determinar el tiempo de vida de un producto, es decir, el tiempo en el que un producto, almacenado bajo ciertas las condiciones, persiste en condiciones aptas para ser consumido. Este método es aplicable para productos que su vida anticipada es larga, como varios meses o años. Consiste en almacenar los productos en un lapso de tiempo aumentando la temperatura de almacenamiento, por lo que los cambios que ocurren se aceleran. Al acelerar estos cambios se puede analizar la vida de un producto a una temperatura de almacenamiento real. Este método no se puede aplicar para cambios microbiológicos porque los microorganismos tienen rangos específicos de crecimiento. Las temperaturas elevadas pueden prevenir el crecimiento de ciertos microorganismos o permitir el crecimiento de microorganismos no importantes para el almacenamiento de un producto a cierta temperatura. (Morales, 2007)

Los resultados de la prueba de vida de anaquel se reportan como la pérdida de calidad de un factor por su deterioro cuando está en almacenamiento a condiciones específicas. El fin de la vida de anaquel se define cuando las muestras almacenadas son percibidas con un factor diferente en cierta cantidad. Para establecer la proporción en la que decae la vida de anaquel se deben trasladar los datos tomados a una gráfica cinética. Para describir cuánto aguanta un producto a distintas temperaturas, se utiliza el modelo de Arrhenius. La mayoría de reacciones encajan en una expresión matemática de orden 0 ó de primer orden:

$$-dA/dt = k(A)^n$$

donde A es el factor de la calidad medido en unidades, n es el orden de reacción, k es la razón de deterioro y la pendiente que se genera de la gráfica

de A vs tiempo t. Con esta ecuación e Arrhenius, se podrá extrapolar con una línea recta en una gráfica de  $\log k$  vs  $1/T$  (K) para predecir la velocidad de la reacción a otra temperatura.

## IV. DISEÑO EXPERIMENTAL

### A. Metodología

**1. Obtención de muestra.** Las muestras fueron proporcionadas por la empresa proveedora Alimentos Sumar S.A, ubicada en El Tejar, Chimaltenango. Estas muestras fueron recolectadas en febrero de 2010.

**2. Cortado.** Después de haber limpiado bien el brócoli, se cortó en pequeños pedazos con un cuchillo para facilitar la deshidratación. El tamaño fue aproximadamente 2 x 2 cm.

**3. Escaldado.** Se escaldó la mitad de cada una de las partes cortadas para desactivar las enzimas que pudieran afectar la calidad a lo largo del tiempo. Se le aplicó el tratamiento solamente a la mitad para tener un patrón de comparación. Se sumergieron los pedazos en agua a 95°C por 5 minutos.

**4. Deshidratación.** Se deshidrató en un horno de convección ubicado en la Universidad del Valle, el cual tenía un clavijero con bandejas. Se deshidrató a 70°C, hasta obtener un peso constante. En cada una de las partes, se monitoreó el peso cada hora para poder trazar la curva de deshidratación.

**5. Molienda.** Todas las partes se pasaron por un molino de discos para reducir el tamaño, luego para obtener partículas más finas se pasaron por el ciclón.

**6. Análisis químicos.** Se hizo un estudio de la composición química proximal para analizar la composición nutricional. Para esto, se siguió los métodos propuestos por la AOAC. Los componentes que se analizaron fueron humedad, proteínas, fibra dietética, cenizas, grasa y carbohidratos por diferencia. Los números de los métodos en la AOAC son los siguientes:

- Humedad, Método 925.10, horno de aire
- Cenizas, Método 923.03, método directo
- Grasa, Método 922.06, extracto etéreo
- Proteína, Método 920.87, Kjeldahl
- Fibra dietética, Método 985.29
- Carbohidratos por diferencia

**7. Características de funcionalidad.** Las características de funcionalidad que se analizaron fueron solubilidad, textura de la masa creada, absorción de agua y aceite, densidad y tamaño de partícula.

Solubilidad en agua, Método WSI (Campas, *et al.*)

Absorción de agua, Método WAI (Campas, *et al.*)

Absorción de aceite, Método WAI (Campas, *et al.*)

Textura, texturómetro, Texture Analyser y penetrómetro

Tamaño de partícula, tamizador.

**8. Evaluación biológica.** Se hizo una evaluación biológica utilizando el método oficial Relación de Eficiencia Proteica (PER) para mostrar el efecto suplementario del producto. El estudio se realizó en el INCAP, con 4 ratas hembras y 4 ratas machos WISTAR para cada dieta, con una duración de 5 semanas. Cada semana, las ratas se pesaron y se tomaron los datos del peso aumentado y alimento ingerido.

**9. Elaboración de productos.** Se desarrollaron distintos productos con mezclas de harinas, entre ellas se utilizó trigo, maíz y papa. Las mezclas fueron 92% trigo y 8% tronco para desarrollar galletas saladas, 80% maíz y 20% flor para desarrollar croquetas; y 80% papa y 20% tallo para hacer croquetas. Con estas mezclas se logró una mejor composición nutritiva del producto final.

**10. Análisis sensorial.** Se hizo una prueba de aceptación, con escala hedónica, con 15 panelistas por cada producto desarrollado. Se utilizó una escala desde me disgusta mucho hasta me gusta mucho. A continuación se presenta la boleta de evaluación.

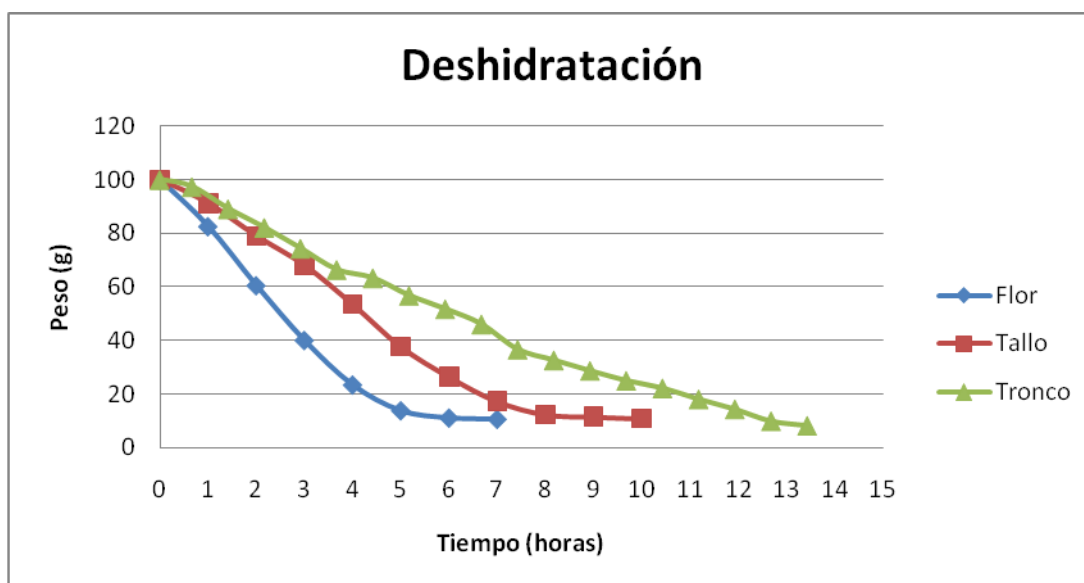
Boleta de evaluación					
					No Panelista _____
PRUEBA DE ACEPTABILIDAD CON ESCALA HEDÓNICA DE PRODUCTO DESARROLLADO					
Nombre _____					
Fecha _____					
Observe, pruebe y huela las dos muestras del producto que se le presentan a continuación.					
<b>MUESTRA 1</b>					
	Me gusta mucho	Me gusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta	Me disgusta mucho
COLOR					
OLOR					
SABOR					
TEXTURA					
OBSERVACIONES					
<b>MUESTRA 2</b>					
	Me gusta mucho	Me gusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta	Me disgusta mucho
COLOR					
OLOR					
SABOR					
TEXTURA					
OBSERVACIONES					
OBSERVACIONES _____					

11. **Vida de anaquel.** Se pesó 20g de una muestra homogénea de las 3 partes de brócoli recién molido, con tratamiento de escaldado. Se almacenaron en empaque laminado grueso, y sellado con calor. La prueba se realizó por 5 semanas, por lo que 5 muestras se almacenaron a temperatura ambiente (25°C), 5 muestras en una incubadora a 30°C, 5 en 35°C y 5 en 40°C. Un día a la semana se midió los distintos parámetros. Para calcular la vida, se utilizó la ecuación de Arrhenius.

## V. RESULTADOS

### A. Estudio de deshidratación

Figura No.1: Deshidratación de las tres partes



### B. Análisis químicos proximales

Tabla No. 11: Análisis proximal de la flor (g/100g base seca)

Flor						
	Escaldada		No escaldada		PROMEDIO	
	Promedio (g/100g base seca)	Desviación estándar	Promedio (g/100g base seca)	Desviación estándar	(g/ 100g base seca)	Desviación estándar
Humedad	4.15	0.02	3.89	0.00	4.02	0.18
Proteína	32.54	0.27	32.57	0.24	32.56	0.02
Grasa	6.32	0.25	4.22	0.18	5.27	1.48
Ceniza	6.56	0.22	7.45	0.01	7.01	0.63
Fibra dietética	11.08	0.04	11.04	0.80	11.06	0.03
Carbohidratos	39.35		40.84		40.10	1.05

Tabla No. 12: Análisis proximal del tallo (g/100g)

Tallo						
	Escaldada		No escaldada		PROMEDIO	
	Promedio (g/100g base seca)	Desviación estándar	Promedio (g/100g base seca)	Desviación estándar	(g/ 100g base seca)	Desviación estándar
Humedad	4.61	0.18	4.55	0.01	4.58	0.04
Proteína	22.24	0.22	18.60	0.77	20.42	2.57
Grasa	1.30	0.29	1.98	0.05	1.64	0.48
Ceniza	9.84	0.01	9.82	0.03	9.83	0.01
Fibra dietética	13.92	0.48	13.81	0.68	13.87	0.08
Carbohidratos	48.09		51.24		49.67	2.23

Tabla No. 13: Análisis proximal del tronco (g/100g)

Tronco						
	Escaldada		No Escaldada		PROMEDIO	
	Promedio (g/100g base seca)	Desviación estándar	Promedio (g/100g base seca)	Desviación estándar	(g/ 100g base seca)	Desviación estándar
Humedad	3.71	0.04	4.91	0.04	4.31	0.85
Proteína	15.63	0.25	17.47	0.25	16.55	1.30
Grasa	2.15	0.04	1.21	0.08	1.68	0.66
Ceniza	13.51	0.01	16.35	0.06	14.93	2.01
Fibra dietética	22.90	0.29	19.49	0.35	21.20	2.41
Carbohidratos	42.09		40.58		41.34	1.07

## C. Análisis de funcionalidad

### 1. Densidad

Tabla No. 14: Densidad de cada parte

Parte	Densidad (g/ml)	Promedio	Desviación estándar
Flor No Escaldada	0.61	0.59	0.022
Flor Escaldada	0.58		
Tallo No Escaldado	0.55	0.53	0.040
Tallo Escaldada	0.50		
Tronco No Escaldado	0.41	0.47	0.083
Tronco Escaldado	0.53		

Figura No.2: Relación entre ceniza y densidad

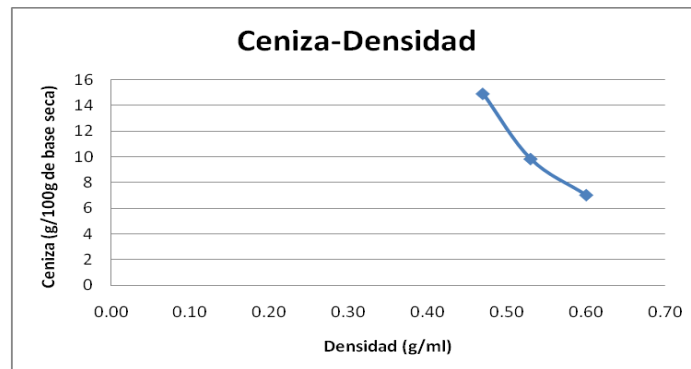


Figura No.3: Relación entre proteína y densidad

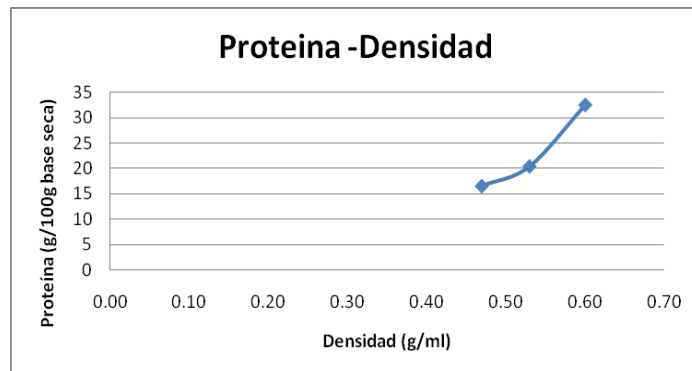


Figura No.4: Relación entre fibra y densidad

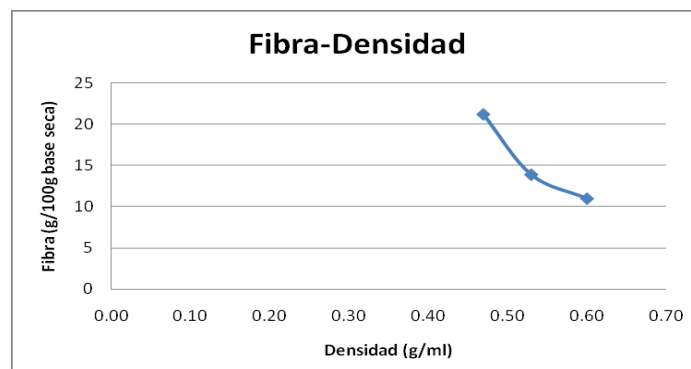
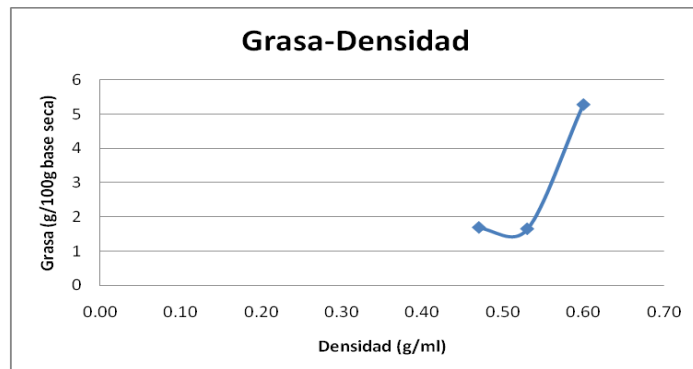


Figura No.5: Relación entre grasa y densidad



## 2. Tamaño de partícula

Figura No.6: Tamaño de partícula de la harina de flor y tallo

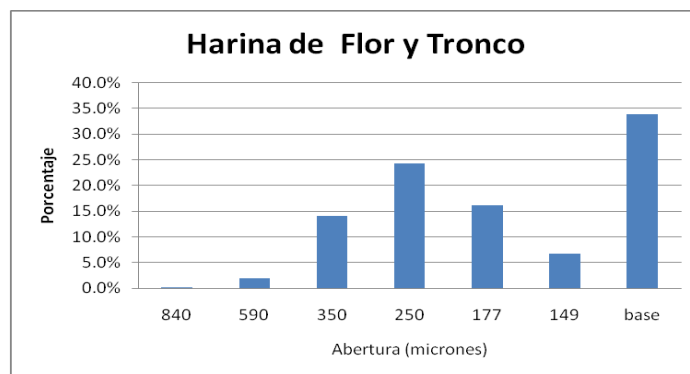


Figura No.7: Tamaño de partícula de la harina de tronco

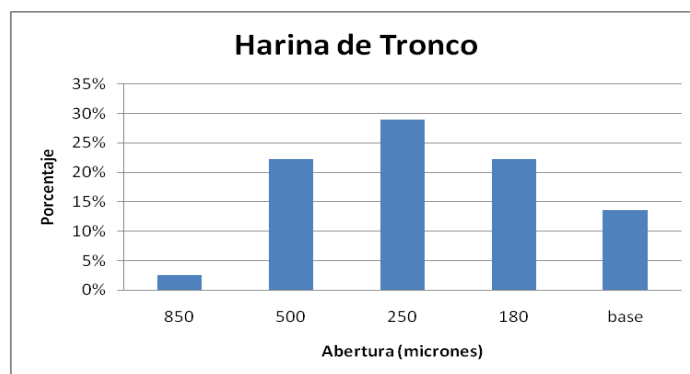


Figura No.8: Tamaño de partícula de harina de trigo

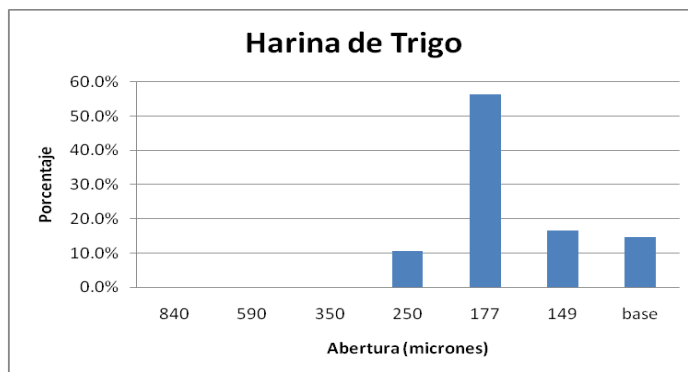
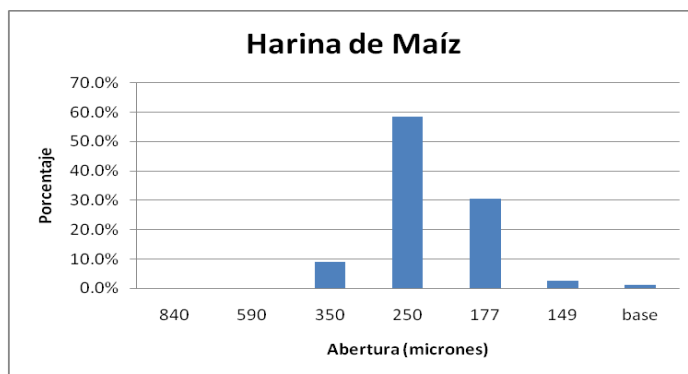


Figura No.9: Tamaño de partícula de harina de maíz



### 3. Absorción de agua

Tabla No.15: índice de absorción de agua y sólidos solubles

	Índice de absorción de agua ml/g	Desviación estándar	Promedio	Índice de sólidos solubles mg/ml	Desviación estándar	Promedio
Flor escaldada	9.43	0.06	9.66	0.11	0.01	0.11
Flor no escaldada	9.89	0.27		0.11	0.02	
Tallo no escaldado	10.90	0.19	11.54	0.09	0.01	0.06
Tallo escaldado	12.19	0.46		0.02	0.01	
Tronco no escaldado	8.15	0.41	8.08	0.24	0.02	0.20
Tronco escaldado	8.01	0.37		0.15	0.04	

#### 4. Absorción de aceite

Tabla No.16: índice de absorción de aceite

	Índice de absorción de aceite ml/g	Desviación estándar	Promedio
Flor no escaldada	2.20	0.00	2.19
Flor escaldada	2.19	0.18	
Parte Media no escaldada	2.46	0.19	2.32
Parte media escaldada	2.18	0.36	
Tallo no escaldado	3.08	0.02	2.83
Tallo escaldado	2.59	0.03	

#### 5. Textura

Figura No. 10: Textura de masa de maíz con flor



Figura No. 11: Textura de masa de maíz



Figura No.12: Pegajosidad de harina de trigo con tronco

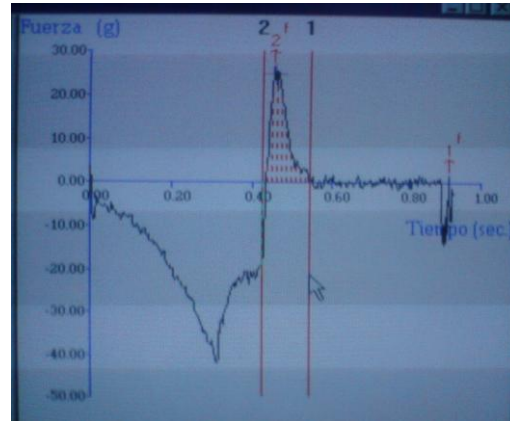


Figura No.13: Pegajosidad de harina de trigo

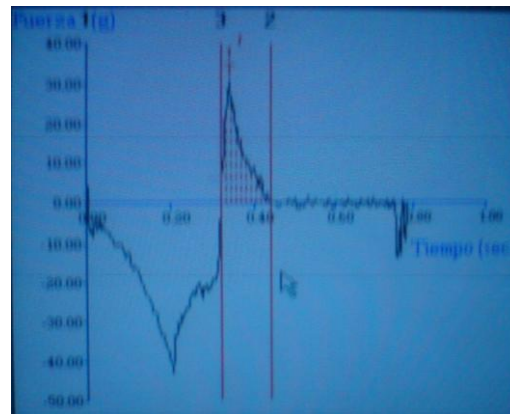


Tabla No.17: Textura de las masas

Masa	Pegajosidad (g)	Cohesividad (ms)	Adhesividad (penetrómetro mm)
100% Trigo	27	1.436	1.170
92%Trigo y 8%Tronco	25	1.100	1.102
100% Maíz			209
80%Maíz y 20%Flor			193

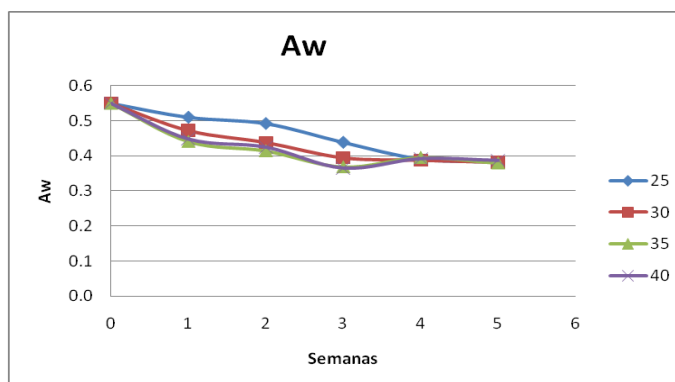
## D. Vida de anaquel

Tabla No.18: Tiempo de vida de la harina de brócoli según cada parámetro

Parámetro	Vida en semanas
Color	7
Olor	5
Sabor	11

\*En Apéndice se muestran las gráficas de la tendencia.

Figura No. 14: Actividad de agua



## E. Análisis sensorial

Tabla No.19: Preferencia

Producto	Muestra preferida	¿Existe diferencia entre las muestras?
Galletas saladas	Con brócoli	No
Croquetas	Sin brócoli	No
Tamalitos	Igual	No

Tabla No. 20: Porcentaje de aceptabilidad de cada parámetro con “Me gusta Muchísimo”

	Galleta	Croquetas	Tamal
Color	81%	73%	63%
Olor	76%	76%	70%
Sabor	79%	79%	73%
Textura	87%	73%	85%

Figura No.15: Evaluación sensorial de galletas saladas

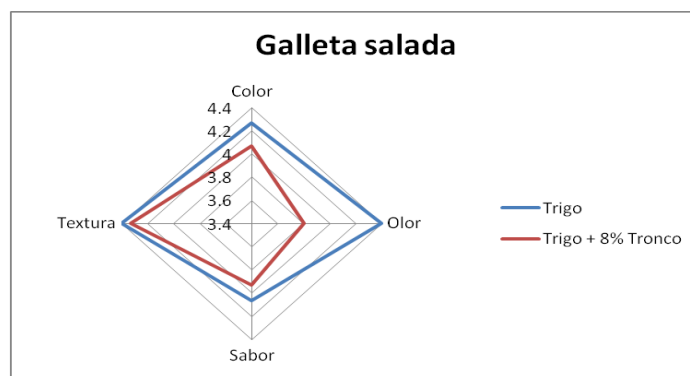


Figura No.16: Evaluación sensorial de croquetas

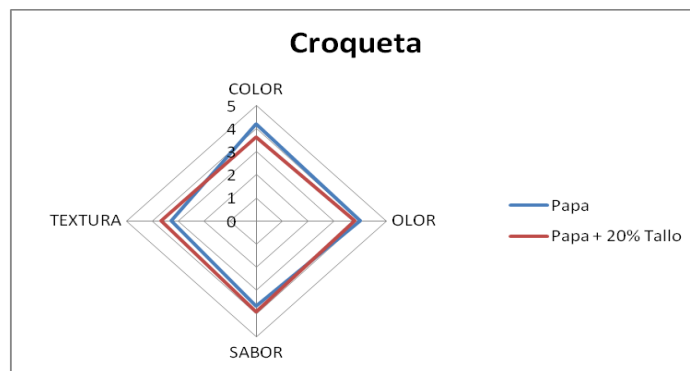
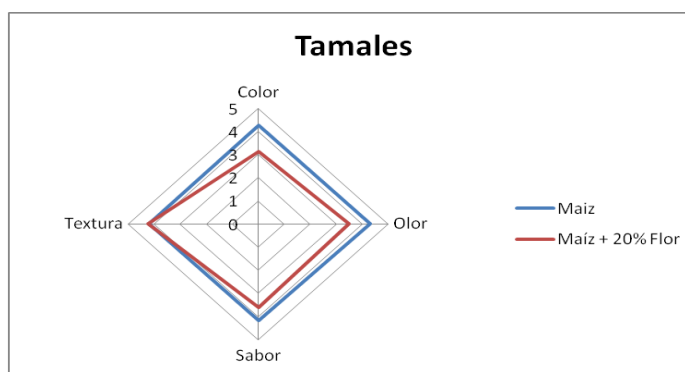


Figura No.17: Evaluación sensorial de tamales



## F. Análisis biológico

Tabla No.21: Estudio biológico con trigo y tronco

Trigo y Tronco de brócoli					
	0%Tronco 100%Trigo	4%Tronci 96%Trigo	8%Tronco 92%Trigo	12%Tronco 88%Trigo	Caseína
<b>Aumento en peso (g)</b>	25.63	32.25	34.50	42.38	107.12
Desviación estándar	5.07	4.06	4.21	4.36	25.04
<b>Alimento ingerido (g)</b>	221.00	221.75	214.75	228.25	367.25
Desviación estándar	14.41	26.65	22.83	15.49	41.08
<b>PER</b>	0.93	1.06	1.24	1.56	2.54
<b>Eficiencia proteica</b>	8.8	6.87	6.22	5.39	3.42

Tabla No.22: Estudio biológico con maíz y flor

Maíz y flor de brócoli				
	0%Flor 100%Maíz	10%Flor 90%Maíz	20%Flor 80%Maíz	Caseína
<b>Aumento en peso</b>	32.50	62.50	104.00	107.12
Desviación estándar	6.50	8.43	17.64	25.04
<b>Alimento ingerido</b>	221.00	295.50	385.88	367.25
Desviación estándar	25.61	26.61	47.86	41.08
<b>PER</b>	1.72	2.11	2.20	2.54
<b>Eficiencia proteica</b>	6.8	3.5	2.06	3.42

Tabla No. 23: Estudio biológico con tronco y flor

<b>Tronco (80%) y flor (20%)</b>	
<b>Aumento en peso</b>	79.63
Desviación estándar	8.56
<b>Alimento ingerido</b>	354.75
Desviación estándar	26.57
<b>PER</b>	1.91
<b>Eficiencia proteica</b>	4.45

## VI. DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue realizar el análisis de las harinas de distintas secciones morfológicas (flor, tallo y tronco) del brócoli y determinar la viabilidad de desarrollar productos hechos con una mezcla de harinas. El desarrollo de estos productos es importante en la población por tanta desnutrición existente en el país, con este estudio se abren posibilidades de crear nuevos productos que mejoren la calidad nutricional de la población.

- Escaldado:

En el estudio, se realizó el tratamiento de escaldado a la mitad de las muestras y la otra mitad no se escaldó para poder tener un control contra el cual comparar. Este tratamiento sirvió para detener todas las reacciones que afecten la calidad del brócoli, especialmente para inactivar la peroxidasa, que provoca la oxidación. Al mismo tiempo, se disminuye la carga microbiana que el vegetal podría contener. En este proceso se logró eliminar el aire, ablandar los tejidos y fijar el color (a un verde claro, brillante). La temperatura a la que se llegó fue de 97°C por 5 minutos. Se utilizaron estos parámetros descritos en estudios previos (Goodrich, 1998) para poder obtener un producto sin que esté afectado significativamente por el tratamiento. Según la literatura, la mayoría de glucosinolatos se destruyen en este proceso. En este caso, la textura que el tratamiento le proporcionó al brócoli no importó por el hecho que se convirtió en harina posteriormente.

- Deshidratación:

En los tejidos vegetales, el agua no está distribuida de manera uniforme, por lo que cada sección morfológica y cada unidad tienen una humedad diferente. Esto se debe a la distinta composición del vegetal, como carbohidratos, grasas y otros componentes propios de cada tejido. Para realizar este proceso, se utilizó un horno deshidratador por convección, a una temperatura de 70°C. Nuevamente, se utilizó esta temperatura descrita en

estudios anteriores que dieron buenos resultados (Maldonado y Pacheco, 2005). A esta temperatura se evita quemar el brócoli, ya que si ésta es más alta, se obtendrá un olor y un sabor desagradable. En este paso, el tamaño de los pedazos fue importante, ya que mientras más pequeños y delgados eran, mayor área de contacto y más rápida la deshidratación. Durante el proceso, fue necesario cambiar las bandejas de lugar para que el secado fuera uniforme.

En las gráficas que se muestran en los resultados, se observa que el tiempo que se toma para deshidratar el brócoli varía entre 7 a 14 horas, tomando 7 horas para deshidratar la flor, 10h para el tallo y 14h para el tronco. Este es el tiempo en el que la velocidad de deshidratación disminuye y el peso cambia muy poco, es decir, donde la humedad ya es muy baja y cuesta que baje más. En otros estudios, proponen que el tiempo aproximado para deshidratar un vegetal o fruta hasta un 12% es de 12 horas aproximadamente, por lo que el tiempo obtenido es coherente. (Dardon, 2007) Se podría decir que se llegó a la humedad ligada, la cual es la que no se volatiliza fácilmente, no se pierde durante el calentamiento y está unida al alimento. La diferencia de tiempo entre cada sección es bastante, esto se debe a los tejidos de cada parte y a la cantidad de agua que contiene cada una. El tronco es la parte que más tiempo se llevó para deshidratar, esto pudo haber sucedido porque sus tejidos están más unidos y no dejan que el agua se libere, además de contener más agua. En todas las gráficas, se observa que la del tronco es la menos uniforme, y también se puede deber a la unión entre los tejidos que no deja que se evapore el agua uniformemente. A partir de los datos obtenidos de la humedad en la harina, se puede observar que todas las humedades finales están alrededor del 4.3%, y se puede decir que por debajo de este valor, el brócoli ya tiene una humedad apta para evitar que crezcan microorganismos o reacciones que alteren la harina. El dato final, coincide con otros estudios, donde la llevan hasta peso constante con un 4% de humedad. (Dardon 2007)

De los datos obtenidos en la vida de aquel, el valor de actividad de agua fue de 0.53. La actividad de agua para una harina está entre 0.6 y 0.85, por lo que se puede decir que no le crecerán bacterias patógenas ya que está dentro del parámetro y a lo largo del tiempo se mantuvo constante con leve tendencia a disminuir.

Comparando con la humedad de las harinas de cereales, como la de trigo que contiene alrededor de 11%, la humedad final obtenida es bastante baja, por lo que se podría decir que el tiempo de secado hubiera podido ser más corto y llevarlo a solamente a un 10%. De esta forma se reduciría el costo ya que se consumiría menos energía, lo cual es un factor importante en las industrias. Según los datos obtenidos en la deshidratación, si se llega hasta un 10%, el tiempo que se tomaría es desde 6 horas para la flor hasta 10 horas para el tronco, lo que hace una gran diferencia en términos de ahorro. Para reducir aún más los costos, se debe buscar maneras para hacer que el tiempo de deshidratación baje, como reducir más el tamaño, desintegrar completamente el vegetal, molerlo antes de deshidratar, u otros métodos.

- Análisis Químico Proximal:

Se realizaron varios análisis químicos para analizar la composición de cada sección y así poder compararlos. Los análisis que se llevaron a cabo fueron humedad, proteína, ceniza, fibra y carbohidratos. Los resultados obtenidos se utilizaron para calcular por diferencia los carbohidratos.

- Humedad: El análisis de la humedad sirvió únicamente para verificar la humedad final obtenida en la deshidratación. Se observó que en las tres partes, la humedad final está alrededor de 4%. Este valor es más exacto que el determinado con la curva de secado ya que es una muestra más homogénea.

- Proteína: Se analizó las harinas con ambos tratamientos térmicos para poder comparar el efecto del escaldado en la composición del mismo.

En las tablas de análisis proximal, se puede observar que la diferencia de composición entre la parte escalada y no escalada no varía mucho, por lo que en los componentes analizados no afecta significativamente. Esto se confirma en un estudio previo donde comparan el análisis proximal de las harinas de güisquil escaldado y no escaldado, en donde la composición no cambia respecto a los tratamientos. (Armas, 2005) Como se dijo anteriormente, cada unidad de vegetal tiene una composición distinta debido a factores como el clima, factores genéticos y ecológicos, por lo que los resultados son una aproximación.

Se observa que el contenido de proteína en el brócoli varía de 15.53g/100g base seco (tronco) hasta 32.54g/100g base seco (flor) aproximadamente. Al hacer un análisis estadístico se comprueba que no hay diferencia significativa entre el tallo y el tronco, pero sí lo hay entre la flor y tronco. Si se compara con la tabla de composición del brócoli (Salunkhe y Kadam 1995) en el capítulo de los Antecedentes, se puede ver que hay diferencia proteica entre el brócoli en base húmeda (4%) y la harina (32%); esto es porque al deshidratar, todos los componentes se concentran ya que se elimina el agua, la cual es la mayoritaria. Con estos resultados, se confirma que se obtiene una harina con una concentración bastante alta de proteína. La flor, por diferencia, tiene un mayor contenido de proteína, la cual es comparable con el contenido en alimentos altos en proteína. Los valores obtenidos en este estudio coinciden con otros estudios realizados previamente, donde confirman que la flor contiene la mayor cantidad y los valores se aproximan a los obtenidos (Campas, 2009); esta parte contiene alrededor de un 49% (en el presente) y un 60% (en el estudio previo) de proteína por encima que el tronco.

La proteína del brócoli es de alta calidad debido a sus aminoácidos esenciales. En este estudio solamente se analizará lo descrito en la literatura. Como se puede ver en las tablas de contenidos de aminoácidos del brócoli y harina de trigo (FAO, 1985), en la mayoría (6 de 9) de los esenciales (isoleucina, lisina, treonina, triptófano, valina y arginina) el brócoli está por

encima del trigo. Se puede ver que la diferencia entre algunos es muy grande, como por ejemplo, el brócoli tiene 316mg/g de nitrógeno de lisina, mientras que la harina de trigo tiene 179mg/g nitrógeno, lo cual hace que el brócoli contenga un 43% más que el trigo. Así como este ejemplo, son la mayoría de aminoácidos esenciales, por lo que hace a la harina de brócoli un producto de muy buena calidad proteica que podría complementar a la harina de trigo u otras harinas. Analizando la tabla de referencia proporcionada por la FAO, se puede observar que varios de los aminoácidos esenciales del brócoli se acercan a los niveles sugeridos, como lo es la isoleucina que contiene 270mg/g nitrógeno y el nivel sugerido es de 250mg/g.

- Grasa: Se puede observar que la flor es la parte que más grasa contiene (6.32g/100g base seca) y que está por encima del tronco y del tallo en un 69%. La cantidad obtenida en el tronco y tallo son un valor similar y bajo. Las cantidades concuerdan con estudios previos (Campas, 2005), sin embargo, estos indican que el tallo es la parte que más grasa tiene, por lo que no se puede concluir exactamente cuál es la parte más grasosa. En la flor y en el tronco, la muestra escaldada contenía más grasa que la no escaldada, esto se pudo deber a que en el tratamiento, los tejidos se abrieron más y al hacer el análisis, fue más fácil extraerla. Es importante hacer notar que la grasa en la harina de trigo (0.9%) es menor a la del brócoli, por lo que podría conferir otra textura y sabor al producto. Así mismo, puede ser más delicada por la degradación de los lípidos.

- Ceniza: Las cenizas en los alimentos son importantes por las implicaciones nutricionales que sugieren, como la importancia del hierro, el calcio, el zinc, etc. Los análisis realizados no proporcionan un dato muy exacto porque algunos componentes se pueden volatilizar, como lo es el azufre, un componente mayoritario en el brócoli. Además, el contenido de sales minerales en los vegetales depende de los minerales en la tierra, de cada vegetal y de la etapa de maduración del mismo. Los datos aproximados que se obtuvieron concuerdan con otros estudios, que están alrededor de 7 y 15% para la flor y tronco respectivamente. La flor contiene un 50% menos en

contenido que el tronco. En el análisis estadístico, se comprueba que la diferencia sí es significativa entre las secciones morfológicas, y ésta se puede deber a que en los tejidos del tallo se almacenan los minerales ya que es esta parte la que está en contacto con el suelo. Analizando los datos teóricos de la harina de trigo, se puede ver que contiene muy poca ceniza, un 0.47%, por lo que al hacer una harina compuesta puede complementar esta parte importante.

- Fibra: Con respecto a la fibra dietética analizada, se puede ver que el tronco es la parte que más contiene, 21g/100g, y que está en un 50% arriba de la flor. Si se toma solamente el tronco, el contenido de fibra en promedio en el brócoli es bastante alto, la cual es importante en la digestión (se incluye celulosa y lignina). Sin embargo, si se toma en cuenta solamente la flor, el contenido es bajo, por lo que si se quiere un producto con alto contenido de fibra se debe tomar el tronco. Al realizar el análisis estadístico, se comprueba que sí hay diferencia, y esto se podría deber a la ubicación de las partes en el vegetal. Como se ha establecido, el tronco es una fuente importante de fibra, por lo que es importante buscarle aplicaciones para no desperdiciar este recurso. La aplicación que se le dio en este trabajo y que dio buenos resultados, fue galletas saladas hechas con 92% harina de trigo y 8% de tronco, la cuales fueron bien aceptadas.

La fibra en la alimentación es muy importante porque ésta se fermenta en el intestino y evita enfermedades como cáncer de colon. En vista de esto se recomiendan estudios dirigidos hacia definir mejor la fibra dietética de este producto.

- Carbohidratos: El análisis de los carbohidratos, el cual fue calculado por diferencia, no es muy exacto ya que depende de todos los análisis realizados anteriormente. Sin embargo, estos son importantes en la nutrición por ser fuente de energía. Estos carbohidratos son monosacáridos y disacáridos. Como se puede ver en los Resultados (Tablas No.11, 12 y 13), la parte que más contiene es el tallo, con 49g/100g, mientras que las otras

dos partes tienen un contenido similar entre 40-41g/100g de muestra. Al realizar una prueba estadística, se observa que la diferencia entre las muestras sí es significativa, por lo que se tendría que analizar nuevamente para determinar si hubo algún error o la causa posible.

- Características funcionales:

- Densidad: La densidad propuesta por la FAO para una harina varía entre 0.5-0.8g/ml, y las que se obtuvieron (0.47-0.61 g/ml) están dentro de este rango. Como se puede ver en los Resultados, en la Tabla No. 14, las densidades entre los distintos tratamientos varía un poco, no teniendo un patrón ya que en la flor y en el tallo, el escaldado las hizo más densas, mientras que en el tronco, los tratamientos difieren bastante, 0.41g/ml para la no escaldada y 0.53g/ml para la escaldada. Es interesante hacer notar que esta misma parte obtuvo el mayor índice de sólidos solubles (Tabla No.15), por lo que se podría decir que existe una relación entre la densidad y solubilidad; mientras menos densa es la harina, más soluble es, y que en esta parte del brócoli, el escaldado sí tiene un efecto. Uno de los efectos que puede causar la densidad en los productos es la sedimentación, mientras más denso sea, más se sedimentará. En la harina de brócoli, la parte que más se sedimentaría según los resultados es la flor y la que menos es el tronco. Sabiendo esto, se podría decir que la parte que mejor funcionaría en una sopa, en términos de solubilidad y sedimentación es el tronco.

Se puede ver que existe una relación entre la densidad y la fibra, ceniza, grasa y proteína. La relación que hay con la ceniza y la fibra es inversamente proporcional (Gráficas 4 y 6), mientras menos contenido de fibra o ceniza, más denso es, en este caso, la flor es la parte más densa y la que menos fibra y ceniza contiene. Mientras que para la proteína y la grasa, hay una relación lineal, mientras más denso es, más contenido tiene. En este caso, la flor contiene más proteína y grasa, siendo la parte más densa. También se puede ver que la diferencia entre el tronco y la flor en el contenido de todos los componentes es grande, y en las gráficas, se muestra la gran pendiente entre estas partes. A partir de estos resultados, se podría

decir que la grasa, proteína, fibra y cenizas afectan en la densidad y por tanto, en la solubilidad de la misma.

Sabiendo la densidad, también se podrá tener una idea del peso que tendrá una bolsa de empaque de determinada capacidad.

- Tamaño de partículas: El tamaño de las partículas en una harina es muy importante tanto en la textura como en el empaque, además de otros efectos que éste pueda tener. Como se puede ver en las gráficas de distribución, la mayoría de partículas están en la base, lo que quiere decir que la harina (mezcla de flor y tallo) tiene un tamaño menor a 149 micrones. Las gráficas también muestran que la harina de brócoli es la más fina, sin embargo, también contiene un gran porcentaje de 250 micrones, que es el mismo tamaño que la harina de maíz. También se puede ver que la harina de tronco, aunque se haya molido bajo las mismas condiciones, tiene un mayor porcentaje de 250micrones, que se podría deber a que la muestra es morfológicamente heterogénea. La harina de trigo tiene un tamaño de 177 micrones y cierto porcentaje menor a éste. Con estos resultados se podría decir, que con el ciclón, el tamaño de las partículas de la harina de brócoli está entre el de la harina de trigo y la harina de maíz, por lo que se podría mezclar con cualquiera de las dos y ponerse en el mismo empaque de éstas individuales sin afectarlo. La granulometría es importante en la textura, mientras más fina es menos se sentirán las partículas en una masa y serán más deseables.

- Índice de absorción de agua y sólidos solubles: La importancia de la absorción de agua y de aceite de la harina es que éstas influyen en la suavidad, dureza y sequedad del producto final. En los resultados, se vio claramente que existe una relación entre solubilidad, absorción de agua y densidad; estos parámetros afectan la textura. En la Tabla No.15, la parte que presentó menor índice de absorción de agua fue el tronco con 8ml/g, seguido por la flor con 9ml/g y la que mayor tuvo fue el tallo con 11ml/g, lo cual coincide con orden de aceptación de la textura (Tablas No.19), siendo

mejor aceptada la del tronco que la del tallo. También coincide con el orden de los sólidos solubles, el tronco tiene mayor cantidad y el tallo menor. Esto quiere decir que se solubilizará más el tronco, sin embargo, en una masa, no va a tener mucha absorción de agua y será más seca. Esto se pudo comprobar al palpar las mezclas de las harinas. Sin embargo, en el análisis sensorial, los panelistas dijeron que les gustó la textura de las galletas, las cuales fueron hechas con harina de tronco; mientras que las croquetas, hechas con la harina de tallo, fue lo que menos les gustó (Tabla No. 20). La textura de la galleta era de una galleta normal, no quebradiza ni dura, y que con el tiempo, no se puso aguada sino que conservó su textura. Según el análisis estadístico, la muestra que difiere más es el tronco.

Como ya se mencionó antes, el índice de solubilidad más alto fue el del tronco no escaldado, lo cual está directamente relacionado con la absorción de aceite y de la densidad. Esto quiere decir que el tronco no escaldado sería la parte más apta para rehidratarse, y una buena aplicación sería una sopa instantánea o productos listos para consumir.

- Índice de absorción de aceite: Esta parte fue muy parecida a la de absorción de agua, con la novedad que el tronco no escaldado fue quien más absorción presentó con 3ml/g, mientras que todos los demás se mantuvieron alrededor de 2.3ml/g. Esta parte es importante ya que mientras más aceite pueda absorber un producto, estaría más expuesto a la oxidación de lípidos, y de esta manera, reducir la vida de anaquel.

- Textura: Se midió la textura de las masas de los productos realizados para analizar su comportamiento al agregarle harina de brócoli. Como se puede ver en las figuras de las masas (Figuras No.12 y 13), la que contiene 80% maíz y 20% flor presenta una menor cohesión ya que presenta más quebraduras que la que tiene solamente maíz, para ciertos productos, esto no es deseable. Al palparlas, se sintió que la que contenía brócoli estaba más seca. En la Tabla No.17, se comprueba que la masa de maíz con

brócoli, recorre menos distancia al medirla con el penetrómetro, esto es porque es menos rígida y más quebradiza. Es interesante que en el análisis sensorial la textura del tamal resaltara con buenos comentarios y mayor aceptación, al igual que en la de la galleta, por lo que se puede decir que al cocinar la masa, proporciona una textura muy agradable para el consumidor. Es claro que al agregarle brócoli la textura sí cambia, pero como se vio en los resultados, ésta es agradable.

Al analizar la pegajosidad de la masa de 92% trigo y 8% tronco, se puede observar en las gráficas (Figura No. 14 y 15) que el pico más alto de fuerza está en la gráfica de masa de trigo con 27.4g, mientras que la que contenía brócoli fue de 25.7g, esto quiere decir que la que no contiene brócoli es más pegajosa. La adhesión, representada por el área positiva es más grande la de trigo, al igual que la cohesión que está representada por la distancia recorrida. Por lo que se puede ver que la de trigo es más pegajosa, más cohesiva y más adhesiva; sin embargo, en el análisis sensorial se ve que la textura aportada por el brócoli es muy bien aceptada.

- Vida de anaquel:

La vida de anaquel es importante en un producto para determinar el tiempo que dura bajo las condiciones adecuadas. En este caso, se evaluó por medio del método acelerado, y se calculó para un almacenamiento de 25°C. En la Tabla No. 18, se puede ver las distintas semanas de vida según cada parámetro. Los parámetros de color, olor y sabor no proporcionan un dato muy exacto debido a que los datos obtenidos fueron muy subjetivos, y esto proporciona mucho error, por lo que los datos con más valor son de humedad y actividad de agua. De todos estos parámetros, el más importante sería la actividad de agua ya que éste determina el crecimiento bacteriano.

Se hizo una observación en el microscopio para observar si había aparición de animales u otra anomalía, en el cual se encontró que no había crecimiento, sin embargo, se observó apareamiento de manchas blancas.

Estas manchas aparecieron por la degradación de la clorofila. Es interesante hacer notar que a la temperatura de 25°C, no se observaron manchas en ningún momento, sin embargo, a 30°C, se empezaron a observar en la tercera semana. Esto quiere decir que la clorofila en el brócoli se degrada a una temperatura mayor de 25°C. Con respecto al color, se puede ver que para que haya un cambio notable a un verde más oscuro, se toma 7 semanas. Con respecto al olor, se puede ver que tiene una vida de 5 semanas, esto se puede deber a la volatilización de ciertos componentes. Un parámetro muy importante es el sabor, ya que es éste el que determinará el mayor éxito en el mercado. Se puede ver que con el sabor a brócoli, sin que sea muy fuerte, son 11 semanas, por lo que hay que tomar en cuenta este dato en el porcentaje agregado a las harinas; ya que mientras más brócoli contiene, más fuerte será el sabor. Estos datos proporcionan el tiempo en el que se nota un cambio desde el inicio, sin embargo después de las 11 semanas se pudo ver que aún son aceptables según los análisis en las pruebas sensoriales. Es importante hacer notar que estos datos son muy subjetivos, ya que tanto color, olor y sabor fueron tomados con una escala de 1 a 5 dependiendo el estado. Al hacer gráficas de Arrhenius, se puede ver que no hay mucha tendencia lineal.

Se hicieron análisis de actividad de agua y de humedad, sin embargo, los de humedad no se tomaron en cuenta ya que variaban mucho los datos, aunque estos no subieron de 11% de humedad y el límite de aceptabilidad es de 15% para una harina. A lo largo de las semanas la actividad de agua se mantuvo casi constante (con tendencia de disminuir), por lo que se podría decir que no habrá problema de crecimiento de microorganismos. En esta parte, no se pudo utilizar la ecuación de Arrhenius por la tendencia constante, además, el valor de aceptabilidad es de 0.6, y a lo largo del tiempo ésta disminuyó de 0.6 a 0.4, por lo que se podría decir que no crecerán microorganismos. La disminución se pudo deber a que a lo largo del tiempo, lo que quedaba de agua, se evaporó por las temperaturas. Por lo que si se toma en cuenta todos los parámetros para que la harina cumpla con sus condiciones originales, sin tomar en cuenta la degradación de clorofila, el

tiempo de vida de este producto sería de 5 semanas, el cual es bastante bajo, pero no crecerían microorganismos patógenos sino que solamente perderían sus características sensoriales.

Es importante mencionar que en la industria, al producto, se le debe poner que vence antes de lo calculado para poder tener un factor de seguridad. Se debe recalcar que estos datos son una aproximación, y probablemente tengan un gran porcentaje de error. Esto se puede decir ya que las gráficas utilizadas de Arrhenius, no dieron una tendencia lineal muy exacta. Por lo que se recomienda hacer una investigación más profunda de este dato.

- Análisis sensorial:

Para comprobar si los productos elaborados con brócoli son aceptados por el consumidor, se realizó un análisis sensorial con las tres secciones. Las pruebas se llevaron a cabo con personas no entrenadas para comprobar si en realidad, el producto sí sería aceptado en el mercado. Se hizo una receta de galletas saladas hecha con 92% harina de trigo y un 8% de harina de tronco. Se utilizó un porcentaje relativamente bajo ya que en pruebas anteriores, el sabor a azufre resaltaba mucho, además se quemaba muy rápido. Como se puede ver en la Tabla No. 19, los panelistas prefirieron la muestra que contenía brócoli, realizando comentarios en su mayoría, que tiene un mejor sabor. En la Tabla No.20, se muestra que los aspectos que gustaron muchísimo fueron el color y la textura, sin embargo, lo que menos agradó fue el olor, por lo que se podría estudiar cómo mejorar el olor en este producto. En la Figura No.16, se observa la cercanía de las muestras en la textura y el color, y la lejanía en el olor. En la receta de croquetas, realizada con 80% papa y un 20% de tallo, la muestra preferida fue la que no contenía brócoli, sin embargo, los análisis estadísticos demostraron que no había diferencia entre las muestras. Además, en la Figura No.17, se puede ver la cercanía de las dos muestras. Aunque los parámetros obtuvieron un porcentaje de aceptación similar, el más aceptado fue el sabor. Los comentarios más frecuentes eran que no aunque no era desagradable la

muestra que contenía brócoli, preferían la otra. Por último, los resultados de los tamales, realizada con 80% harina de maíz y un 20% flor, mostraron que no hubo muestra preferida, sin embargo, sí hubo un disgusto por el color, por lo que se debe mejorar este aspecto. Nuevamente, la textura fue la más aceptada con “Me gusta muchísimo” pero el color tuvo un porcentaje muy bajo, 63%. En la Figura No.18, se puede comparar la diferencia entre las dos muestras. En ninguna de las pruebas, hubo diferencia significativa entre las muestras de con o sin brócoli.

Como se puede ver en la Tabla No.20, las galletas y las croquetas tuvieron el mismo porcentaje de “me gusta muchísimo”, sin embargo, los comentarios en las galletas demostraron una mejor aceptación.

- Prueba biológica

La prueba biológica se realizó para comprobar la calidad proteica de la harina con brócoli. Se analizó el PER (Razón de Eficiencia Proteica) y la Eficiencia Proteica. Esto se hizo con la mezcla de harina de trigo y tronco a un 0, 4, 8 y 12%. También se hizo para la mezcla de harina de maíz y de flor, a un porcentaje de 0, 10 y 20%. Se escogieron estos porcentajes por pruebas realizadas de productos, los cuales mostraron ser el mejor porcentaje. Se analizó una mezcla de tronco y flor para comparar y determinar la posibilidad de hacer un producto solamente de harina de brócoli, tal como lo es una sopa. Además, se analizó una dieta de maíz con caseína ya que ésta última es la proteína de mayor calidad, y así poder comparar. En la Tabla No. 21, se nota el aumento del valor PER conforme va aumentando el porcentaje de brócoli, esto quiere decir, que conforme se aumenta la proporción, mayor calidad proteica tiene, y que la eficiencia proteica va disminuyendo. Este último dato es coherente ya que se necesita menos alimento ingerido para que una rata aumente de peso. Al comparar con la dieta de caseína, se observa que ésta supera en un 38.5% a la dieta con el 12%, lo cual para ser la proteína de mejor calidad no es tanta la diferencia.

Si se analiza la dieta de maíz con flor (Tabla No.22) se puede ver que ésta supera los datos de la mezcla de trigo y tronco. Esto es porque, como ya se describió previamente, la flor contiene mucho más contenido proteico. Se puede ver que los datos PER en esta dieta son bastante altos, y que la dieta con caseína solamente lo supera en un 13%, esta es la razón por la cual se puede decir que se puede comparar con los alimentos con alto contenido proteico. Se puede ver que la eficiencia disminuye aún más, y que se necesita mucho menos alimento para que las ratas puedan subir de peso.

Es interesante notar que la dieta de mezcla de harinas de flor y tronco tiene menos PER que las dieta con maíz y más que la dieta realizada con trigo. Esto se puede deber a que en esta dieta, el mayor porcentaje fue de tronco (80%). Si la dieta se hubiera realizado con porcentajes inversos, probablemente, el valor PER hubiera sido más alto que la dieta realizada con maíz.

En general, los datos confirman que al mezclar estas harinas, se puede obtener un producto de alto contenido proteico, incluso comparable a la proteína de mejor calidad. La flor es la sección con más proteína y el tronco contiene más fibra cruda. Por esto, se podría decir que sí es viable desarrollar productos a base de harinas compuestas con brócoli que aumenten el valor nutritivo del mismo. Se tendrá que estudiar maneras para modificar el color y olor, para que al final, sea bien aceptado en el mercado. Se ha demostrado que la viabilidad del uso de harina de brócoli en distintos productos es factible, de esta forma, se evita el desperdicio del mismo. Con estos productos, se mejorará la economía de los productores, por tanto la de Guatemala. Además, se mejorará la nutrición ya que se está dando la opción de un alimento más nutritivo para personas que no comen vegetales, tal como lo son los niños.

## VII. CONCLUSIONES

- Es viable desarrollar productos de harinas compuestas con brócoli para brindar un producto de mejor valor nutritivo. Para que realmente tenga éxito en el mercado, hay que mejorar características como el olor y color. Los tres productos desarrollados fueron aceptados, no hubo diferencia significativa entre las dos muestras (con o sin brócoli).
- La sección del brócoli con mayor proteína es la flor con 32g/100g base seca, por lo que ésta sería la parte que contribuye para que el alimento a desarrollar sea alto en proteína, sin embargo, el tronco proporcionó la mayor cantidad de fibra, 21g/100g base seca. Una combinación de todas las partes hace que el producto contenga un alto valor nutritivo.
- Cada sección proporciona un efecto distinto en los productos, el tronco le proporcionó buena textura a las galletas y la flor a los tamales, pero el tallo no le proporcionó buena textura a las croquetas.
- El sabor de las galletas fue lo que más les agradó a los panelistas, y el olor de la flor fue el parámetro que más desagradó.
- El estudio de PER demostró la buena calidad de proteína de la harina de brócoli, sobre todo en la dieta con maíz y flor.
- El tiempo de vida de la harina no se pudo determinar exactamente, pero tiene un aproximado de 5 semanas para que pierda sus características sensoriales. La tendencia de la actividad de agua es casi constante, por lo que es poco probable que se descomponga por crecimiento bacteriano u otras reacciones, sin embargo, se deben hacer estudios más profundos para tener un dato más exacto.

## VIII. RECOMENDACIONES

- En próximos estudios, en el paso de deshidratación, se recomienda tomar una muestra de 100g para tomar el cambio de peso, así se estará tomando una muestra aleatoria y uniforme.
- Se recomienda analizar el patrón de aminoácidos para evaluar experimentalmente la calidad de la proteína, así poderla comparar con la literatura.
- Se recomienda hacer los análisis realizados en este estudio a las mezclas de las harinas compuestas.
- En vista de los resultados de la fibra, se recomiendan estudios para definir mejor la fibra de este producto.
- En futuros estudios, se recomienda analizar de qué forma se le puede eliminar el color a productos utilizados con harina de flor de brócoli en altas concentraciones.
- En estudios posteriores, se recomienda buscar un método para reducir el tamaño antes de deshidratar sin que afecte al producto final para reducir el tiempo de deshidratación.
- Analizar los ácidos grasos ya que el contenido de grasa es significativo.
- Analizar el contenido de minerales en la harina de brócoli por su importancia nutricional.
- Realizar un estudio de vida de anaquel con parámetros numéricos más objetivos, como pH, y un análisis de microbiología. Se recomienda realizar un estudio de vida más elaborado para determinar la vida exacta de la harina.
- Se recomienda estudiar otros procesos térmicos para analizar qué efecto tienen estos en la textura y otras características.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Alimentación y Salud. Artículo de Internet. Publicado el 23 de octubre de 2008. Nuval: índice de valor nutricional de los alimentos. <http://www.euroresidentes.com/Blogs/alimentos-salud/2008/10/nuval-ndice-de-valor-nutricional-de-los.html>
2. Alimentación Sana. Artículo de Internet. Revisado marzo 2010. “¿Qué son los aminoácidos?”. [www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/aminoacidos.htm](http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/aminoacidos.htm)
3. Armas, Zebadúa, Francisco. 2005. «Caracterización Físico-Química de la Harina del Fruto del Guisquil» Tesis de la Universidad del Valle de Guatemala. pp.29
4. Baik, H. *et al.* 2003. «Relating Glucosinolate Content and Flavor of Broccoli Cultivars». Revista de Journal of Food Science. 68 (3): 1043-1050.
5. Barbosa, Gustavo; Vega, Humberto. 1996. *Dehydration of Foods*. Nueva York. Chapman & Hall. 330págs.
6. Campas, Olga. *et al.* 2009. «Biochemical composition and physiochemical properties of broccoli flours.» Revista International Journal of Food Sciences and Nutrition. 1(11): 163-171.
7. Charley, Helen. 2002. *Tecnología de Alimentos: procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. México D.F. Editorial Limusa. 767págs.
8. Cieslik, Ewa., *et al.* 2007. «Effect of some technological process on glucosinolate contents in cruciferous vegetables». Revista Food Chemistry. PP.976-981
9. D’Arcy, Geoff. 2009. «Broccoli Sprouts, cáncer prevention and detoxification» D’Arcy Naturals. <http://www.darcynat.com/Article.asp?strsessionguid=ompzcdyf&fArticleID=47>

10. Dardón, Byron. 2007. «Aumenta la demanda de almentos deshidratados». Prensa Libre. Recopilado de Internet, lunes 16 de julio de 2007. [www.prensalibre.com](http://www.prensalibre.com)
11. Elías, Luiz. Revisado el 2010. *Concepto y Tecnología para elaboración y uso de Harinas Compuestas*. INCAP.  
[http://www.google.com.gt/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=2&ved=0CAoQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwqce.sica.int%2Fbusqueda%2Fbusqueda\\_archivo.aspx%3FArchivo%3Dnttc\\_11433\\_1\\_13112006.pdf&rct=j&q=coquanor+harinas+compuestas&ei=C7OnS4CGG8GQtgfm8on4Ag&usq=AFQjCNHEAdpM6jaYBASct2PBJsH98BHVYQ](http://www.google.com.gt/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=2&ved=0CAoQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwqce.sica.int%2Fbusqueda%2Fbusqueda_archivo.aspx%3FArchivo%3Dnttc_11433_1_13112006.pdf&rct=j&q=coquanor+harinas+compuestas&ei=C7OnS4CGG8GQtgfm8on4Ag&usq=AFQjCNHEAdpM6jaYBASct2PBJsH98BHVYQ)
12. FAO. 2009. Datos recolectados de Internet.  
<http://faolex.org/docs/texts/arg79995.doc>
13. FAO. 1987. 17 Octubre. Amino Acids Scoring Patterns. Fecha de revision: 27 abril 2010.  
<http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/004/M3013E/M3013E00.HTM>
14. FAO. 1970. Contenido en Aminoácidos de los Alimentos y Datos Biológicos sobre las Proteína. Fecha de revisión: 25 de septiembre 2010.  
<http://www.fao.org/docrep/005/ac854t/AC854T00.htm#TOC>
15. FAO. 2008. Top Ten Producers of Coliflower and Broccoli.
16. Goodrich, R., *et al.* 1998. «Glucosinolate Changees in Blanched Broccoli and Brussels Sprouts». Revista Journal of Food Processing and Preservation. Pp. 275
17. Home Economics Researches Reporte No.4. USDA Dec. 1957
18. Hua-Neng, Xu. *et al.* 2009. «Evaluation of water holding capacity and breadmaking properties for frozen dough containing ice structuring proteins from Winter wheat». Revista Journal of Cereal Science. 49 (2009):250-253.
19. Incap. 2007. «Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica». Menchú, MT; Méndez, H. 2da. Edición. Viii-128pp

20. InfoEXORT, AGEXPORT. Datos proporcionados por Analista de Información Karen Cancinos.
21. INFOLATAM, Información y Análisis de América Latina. «Guatemala es el primer país en desnutrición en América Latina. » Fecha de revisión: Octubre, 2010.  
<http://www.infolatam.com/2010/09/21/guatemala-desnutricion-america-latina/>
22. Jeffrey, E.H. 2003. « Variation in content of bioactive components in broccoli». Revista Journal of Food Composition Analysis. 16: 323-330
23. Kusnitz, Marc. 1997. «Cancer Protection Compound Abundant in Broccoli Sprouts». *John Hopkins Health Newsfeed*
24. Lee, H. *et al.* 2005. «Effect of Selenium Fertilizer on Free Amino Acid Composition of Broccoli Determined by Gas Chromatography with Flame Ionization and Mass Selective Detection». Revista Journal of Agriculture and Food Chemistry. 53: 9105-9111
25. Maldonado, R.; Pacheco, E. 2003. «Curvas de deshidratación del brócoli (*Brassica olearaceae L var Italika Plenck*) y coliflor (*Brassica olearaceae var Botrutis L*). Revista de la Facultad de Agronomía. 20 (2). Versión impresa
26. Maroto, José Vicente, *et al.* 2007. **El cultivo de la coliflor y el brócoli.** Valencia. Fundación Rural Caja Valencia, Mundi-Prensa. 404p.
27. Mora, Jesús. Información recopilada del proveedor en el año 2010.
28. Morales, Violeta. 2007. «Alimenta».  
[http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MA021\\_VANAQU\\_EL\\_F.pdf](http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MA021_VANAQU_EL_F.pdf). Actualización: Noviembre/Diciembre 2007. Fecha de Revisión: junio 2010.
29. Nestle, Marion. 1998. «Broccoli Sprouts in Cancer Prevention». Revista Nutrition Reviews. 56 (4): 127-130

30. Olivera, Daniela. *et al.* 2008. «Effect of blanching on the quality of Brussels sprouts (*Brassica oleracea L. gemmifera DC*) after frozen storage.» *Revista Journal of Food Engineering*. 84: 148-155
31. Olson R.A. y Frey K.J. 1987. **Nutritional Quality of Cereals Grains: Genetic and Agronomic Improvement**. Editorial Comitee. 511pp.
32. Petryk, Norberto. 2010. «Es la material prima esencial en el complete sentido de la palabra: formadora de la masa, en particular la harina de trigo.» Revisión de Internet.  
[www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/Chef/harina.htm](http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/Chef/harina.htm).  
última revisión: marzo 2010.
33. Salunkhe, D. y Kadam, S. 1995. **Handbook of fruit science and technology : production, composition, storage, and processing**. Boca Raton.CRC Press. 611p.
34. Sanjuán, N. *et al.* 2003. «Changes in the quality of dehydrated broccoli florets during storage». *Revista Journal of Food Engineering*. 62 (2004):15-21
35. Sistema de Información de Mercados UPIE/MAGA. Información recolectada de internet.  
[http://portal.maga.gob.gt/portal/page/uc\\_upie/documentos/10-brocoli.pdf](http://portal.maga.gob.gt/portal/page/uc_upie/documentos/10-brocoli.pdf)
36. Woodroof, J., Bor, L. 1975. **Comercial Vegetable Processing**. The Avi Publishing Company, Inc. Connecticut.
37. Wujun, Ma. *et al.* 2007. «Wheat flour protein content and water absorption analysis in a doubled haploid population». *Revista Journal of Cereal Science*. 45. (2007): 302-308

## **X. APÉNDICES**

## A. Procesos con fotos

### 1. Materia prima

Figura No. 18: Flor



Figura No.19: Tallo



Figura No.20: Tronco



### 2. Cortado

Figura No. 21: Cortado de flor



Figura No.22: Flor cortada



Figura No.23: Tallo



### 3. Escaldado

Figura No. 24: Escaldadora



Figura No. 25: Escaldado de flor



### 4. Deshidratado

Figura No. 26: Horno deshidratador



Figura No. 27: Deshidratación de flor y parte media



## 5. Molienda

Figura No. 28: Molino de discos



Figura No. 29: Harina de flor



Figura No. 30: Harina de tallo



## 6. Análisis

Figura No. 31: Grasa  
Figura No.  
32: Proteína



Figura No. 33: Fibra



## 7. Estudio Biológico:

Figura No. 3: Ratas Wistar



Figura No. 35: Peso aumentado



## 8. Productos

Figura No.36: Galletas saladas



Figura No. 37: Croquetas



Figura No. 38: Tamales



## 9. Análisis sensorial

Figura No.39: Presentación  
para el panelista



Figura No.40: Panelista



## 10. Vida de anaquel

Figura No. 41: Incubadora



Figura No. 42: Producto almacenado

**B. Dietas**

Tabla No. 24: Dieta de maíz con flor de brócoli

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Harina de maíz	90	80	70	70
Harina de flor de brócoli	-	10	20	20
Minerales	4	4	4	4
Aceite	5	5	5	5
Vitaminas	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
% Proteína	8.52	10.00	12.20	11.70

\*Esta dieta fue realizada con 70% de harina de tallo y 20% de flor de brócoli

Tabla No. 25: Dieta de harina de trigo y tronco de brócoli

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Harina de trigo	90	86	82	80	-
Harina de tallo de brócoli	-	4	8	12	-
Caseína	-	-	-	-	12
Almidón de maíz	-	-	-	-	78
Minerales	4	4	4	4	4
Aceite	5	5	5	5	5
Vitaminas	1	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
% Proteína	12.20	13.74	13.76	13.74	11.45

### C. Composición en los productos

Tabla No.26: Recetas de productos

	Galletas	Croquetas	Tamales
Harina de trigo	92%	-	-
Harina de flor	8%	-	-
Harina de papa	-	80%	-
Harina de parte media	-	20%	-
Harina de maíz	-	-	80%
Harina de tallo	-	-	20%

Se agregaron pequeñas cantidades de ingredientes extra como en la las galletas: aceite, leche, agua y sal; en las croquetas huevo y miga para envolver; y en los tamales agua y sal.

**D. Tendencia de los parámetros de vida de anaquel**

Figura No.43: Color

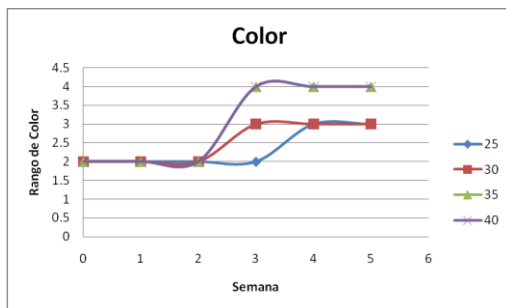


Figura No. 44: Gráfica de Arrhenius de color

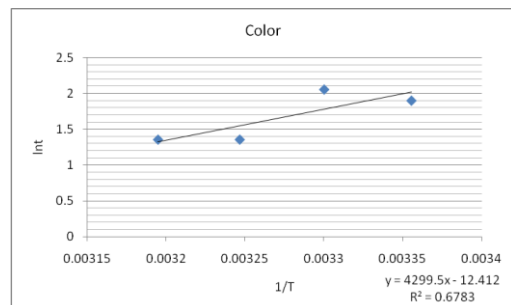


Figura No.45: Olor

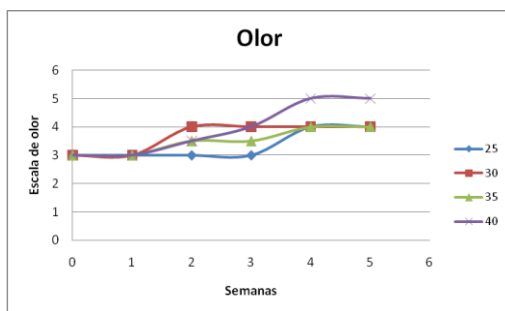


Figura No.46: Gráfica de Arrhenius de olor

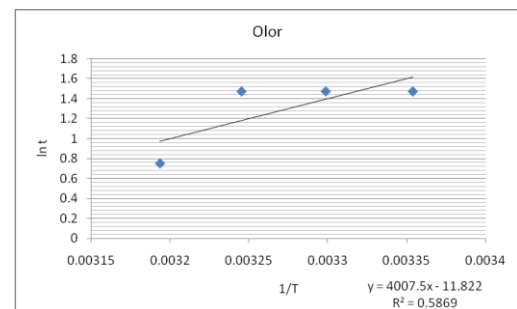


Figura No. 47: Sabor

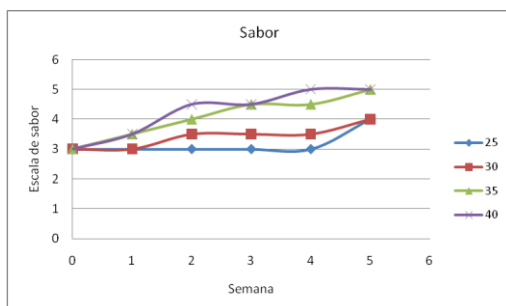
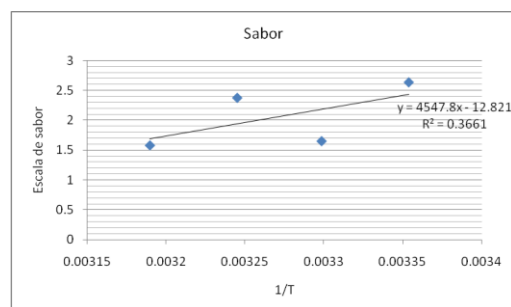


Figura No. 48: Gráfica de Arrhenius de sabor



## E. Cálculo de vida de anaquel

Para realizar los cálculos de vida de anaquel, se se tomaron los datos de cada parámetro cada semana, el mismo día de la semana. Luego, se realizó una gráfica de cada temperatura, donde se presentó el tiempo y los datos, para sí analizar la tendencia lineal. Con la pendiente (representa velocidad de reacción), se sacó el tiempo de vida tomando un valor límite asignado (dependiendo de cada parámetro):

$$t = (\text{Límite-inicial})/\text{pendiente}$$

Esto se hizo con cada una de las temperaturas, luego, se elaboró la gráfica de Arrhenius graficando el logaritmo natural de las  $t$  contra el inverso de las temperaturas (en Kelvin) de cada una de las temperaturas. Con ecuación de la tendencia lineal de esta gráfica, se pudo sacar el tiempo de vida a la temperatura deseada.

Para el color y olor, el valor límite se asignó 4 y para el sabor 5. Estos datos fueron asignados según el criterio del diseñador.