



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN DE UNA HARINA DE CEBADA (*Hordeum vulgare*),  
AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) Y CHAN (*Salvia hispánica L*), EVALUACIÓN  
NUTRICIONAL Y DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA ELABORACIÓN  
DE PASTA**

**Andrea Isabel Velásquez Zapeta**

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma Ramos

Guatemala, enero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN DE UNA HARINA DE CEBADA (*Hordeum vulgare*),  
AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) Y CHAN (*Salvia hispánica L*), EVALUACIÓN  
NUTRICIONAL Y DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA ELABORACIÓN  
DE PASTA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANDREA ISABEL VELÁSQUEZ ZAPETA**

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA RAMOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, ENERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN DE UNA HARINA DE CEBADA (*Hordeum vulgare*),  
AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) Y CHAN (*Salvia hispánica L*), EVALUACIÓN  
NUTRICIONAL Y DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA ELABORACIÓN  
DE PASTA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 29 de enero de 2016.



**Andrea Isabel Velásquez Zapeta**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

---

Guatemala 24 de mayo de 2018

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi.  
Director  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Ingeniero Wong:

Por este medio informo a usted que he revisado el informe final de trabajo de graduación titulado **DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN DE UNA HARINA DE CEBADA (*Hordeum vulgare*), AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) Y CHAN (*Salvia hispánica L*), EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PASTA** elaborado por la estudiante Andrea Isabel Velásquez Zapeta, quien es estudiante de la carrera de Ingeniería Química y se identifica con el carné No. 2142290090101 y registro académico No. 201122944, el cual he encontrado satisfactorio y lo doy por aprobado.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

Ing. Qca. Hilda Piedad Palma Ramos  
Asesora del Trabajo de Graduación  
Colegiado Activo No. 453

**INGA. HILDA PALMA DE MARTINI**  
**COLEGIADO No. 453**



Guatemala, 18 de octubre de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.052.2018.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **113-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN  
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Andrea Isabel Velásquez Zapeta**.  
Identificada con número de carné: **2142 29009 0101**.  
Identificada con registro académico: **2011-22944**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN DE UNA HARINA DE CEBADA (*Hordeum vulgare*), AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) Y CHAN (*Salvia hispánica L*),  
EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA  
LA ELABORACIÓN DE PASTA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma Ramos de Martini**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.



"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.003.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **ANDREA ISABEL VELÁSQUEZ ZAPETA** titulado: **"DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN DE UNA HARINA DE CEBADA (*Hordeum vulgare*), AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) Y CHAN (*Salvia hispánica L*), EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PASTA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, enero 2019

FACULTAD DE INGENIERIA USAC  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
DIRECTOR


Cc: Archivo  
CSWD/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química del trabajo de graduación titulado: **“DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN DE UNA HARINA DE CEBADA (*Hordeum vulgare*), AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) Y CHAN (*Salvia hispánica* L.), EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE PASTA”** presentado por la estudiante universitaria: **Andrea Isabel Velásquez Zapeta** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, Enero de 2019

/echm



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser esa guía, luz y ayuda en todo momento. Por ese gran amor que me demuestra diariamente y que, con esa fe, he logrado todo lo que me he propuesto.
- Mi mamá** Cecilia Velásquez, mi ser amado, mi ejemplo, mi vida. Por brindarme siempre su apoyo y amor incondicional, guiándome en este camino que le llamamos vida. Todo lo que soy se lo debo a ella.
- Mis abuelos** León Velásquez e Isabel Zapeta, por inculcarme el amor a Dios y a ser ejemplo de perseverancia, amor y consejos que trascenderán de generación en generación.
- Mis tíos** Manuel de León, Carlos Son, Mary, Ana, Celso y Héctor Velásquez, por su cariño, apoyo y sus consejos que desde pequeña me enseñaron.
- Mis primos** Beatriz y Leonel Son, Susana y Analu de León, por ser como mis hermanos, por apoyarme y aconsejarme en todo momento. Por sus muestras de cariño.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa que me brindó los conocimientos para llegar a donde estoy hoy. Por permitirme ser parte de este legado.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser mi segunda casa. Por brindarme el conocimiento que permite desarrollarme en el ámbito profesional y ser el camino para llegar al éxito.

**Escuela de Ingeniería  
Química**

Por brindarme el conocimiento específico y el enfoque de mi carrera profesional.

**Mis amigas y amigos**

Las del colegio, por estar conmigo y compartir tantas aventuras. A mi familia universitaria, por las risas, el tiempo, el apoyo y por compartir conmigo este camino de triunfos.

**Mi asesora**

Inga. Hilda Piedad Palma Ramos, por su apoyo, consejos, su valioso tiempo y su guía en la elaboración de mi trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Semilla de amaranto ( <i>Amaranthus cruentus</i> ) .....	3
2.1.1. Origen .....	3
2.1.2. Contenido nutricional .....	4
2.1.2.1. Proteínas .....	5
2.1.2.2. Grasas .....	6
2.1.2.3. Carbohidratos .....	6
2.1.2.4. Fibra dietética .....	6
2.1.2.5. Micronutrientes .....	7
2.2. Semilla de cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ) .....	7
2.2.1. Origen .....	8
2.2.2. Clases de cebada .....	8
2.2.3. Contenido nutricional .....	10
2.2.3.1. Proteínas .....	10
2.2.3.2. Grasas .....	12
2.2.3.3. Hidratos de carbono .....	12

	2.2.3.4.	Fibra dietética.....	12
	2.2.3.5.	Micronutrientes.....	13
2.3.		Semilla de chan ( <i>Salvia hispánica L</i> ).....	13
	2.3.1.	Origen.....	14
	2.3.2.	Contenido nutricional.....	15
	2.3.2.1.	Proteínas.....	15
	2.3.2.2.	Grasas.....	17
	2.3.2.3.	Hidratos de carbono.....	17
	2.3.2.4.	Fibra dietética.....	18
	2.3.2.5.	Micronutrientes.....	18
	2.3.2.6.	Antioxidantes.....	19
	2.3.3.	Ingesta diaria.....	20
2.4.		Alimentos nutricionalmente mejorados ANM.....	20
	2.4.1.	Harinas compuestas.....	21
	2.4.1.1.	Pasta.....	21
		2.4.1.1.1. Contenido nutricional de pastas.....	22
2.5.		Análisis sensorial.....	23
	2.5.1.	Escala hedónica.....	23
2.6.		Análisis nutricional.....	24
	2.6.1.	Materia seca según el método AOAC 930.15.....	24
	2.6.2.	Extracto etéreo según el método Bateman 9.110 ...	24
	2.6.3.	Fibra cruda AOAC 962.09.....	25
	2.6.4.	Proteína cruda AOAC 976.05.....	25
	2.6.5.	Cenizas AOAC 942.05.....	25
	2.6.6.	Extracto libre de nitrógeno Bateman 10.200.....	26
2.7.		Diseño del proceso para elaboración de pastas.....	26
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	31

3.1.	Variables.....	31
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	32
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	32
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....	33
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	34
3.5.1.	Procedimiento y diseño general.....	35
3.5.2.	Obtención de materia prima.....	37
3.5.3.	Formulación y preparación de la mezcla.....	37
3.5.4.	Propiedades nutricionales de las mezclas.....	37
3.5.5.	Elaboración de pasta.....	37
3.5.6.	Pruebas sensoriales.....	38
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	40
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	42
3.8.	Análisis estadístico.....	43
3.9.	Análisis de varianza.....	45
3.10.	Prueba de Tukey.....	51
3.11.	Plan de análisis de los resultados.....	58
3.11.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	59
3.11.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	59
4.	RESULTADOS.....	61
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	73
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES.....	83

BIBLIOGRAFÍA.....85  
APÉNDICES.....89  
ANEXOS.....111

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Semilla de amaranto ( <i>Amaranthus cruentus</i> ).....	4
2.	Cebada de dos carreras.....	9
3.	Cebada de seis carreras.....	9
4.	Semilla de chan.....	14
5.	Diagrama de flujo del proceso.....	36
6.	Diagrama de flujo para la recolección y ordenamiento de información.....	41
7.	Evaluación sensorial de la pasta con la mezcla 1.....	62
8.	Evaluación sensorial de la pasta con la mezcla 3.....	62
9.	Evaluación sensorial de la pasta con la mezcla 5.....	63
10.	Análisis bromatológico de las mezclas con semilla cruda.....	65
11.	Análisis bromatológico de las mezclas con semilla seca.....	65
12.	Comparación del análisis bromatológico de la mezcla 1 con harina de semilla cruda y tostada.....	66
13.	Comparación del análisis bromatológico de la mezcla 3 con harina de semilla cruda y tostada.....	66
14.	Comparación del análisis bromatológico de la mezcla 5 con harina de semilla cruda y tostada.....	67
15.	Comparación de las mezclas de harina con semilla cruda y tostada ...	68
16.	Diagrama de flujo del proceso para la producción de pasta.....	69
17.	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pasta.....	71

## TABLAS

I.	Aminoácidos en 100 gramos de semilla de amaranto .....	5
II.	Aminoácidos en 100 gramos de semilla de cebada.....	11
III.	Aminoácidos esenciales y no esenciales en la semilla de chan ( <i>Salvia hispánica L</i> ), en gramos por 100 gramos de semilla.....	16
IV.	Micronutrientes en diferentes semillas por 100 gramos de semilla.....	19
V.	Composición nutricional de pastas .....	22
VI.	Contenido nutricional de la semilla de amaranto, cebada y chan ( <i>Salvia hispánica L</i> ), en 100 gramos de semilla.....	27
VII.	Variables experimentales a medir.....	31
VIII.	Formulación de harina para elaborar pasta .....	35
IX.	Boleta para prueba hedónica.....	39
X.	Perfil bromatológico para la proporción de sólidos en las cinco formulaciones .....	42
XI.	Tabulación de los resultados obtenidos de las pruebas sensoriales realizadas a la pasta por los consumidores.....	43
XII.	Tabulación de los resultados obtenidos de las pruebas bromatológicas de la harina de semillas crudas y tostadas .....	43
XIII.	Análisis de varianza.....	47
XIV.	Resumen de los datos utilizados para el análisis de varianza entre las cinco mezclas de harina de cebada, amaranto y chan.....	50
XV.	Análisis de varianza de las cinco mezclas propuestas con diferente proporción de ingredientes .....	50
XVI.	Resumen de los datos utilizados para el análisis de varianza de la prueba hedónica entre las tres mezclas, 0 %, 7 % y 15 % .....	51
XVII.	Análisis de varianza para el análisis sensorial de las pastas de las mezclas 1,3 y 5 con 0 %, 7 % y 15 % de harina de chan .....	51
XVIII.	Prueba de Tukey para las tres muestras de pasta evaluadas .....	53



XIX.	Matriz de diferencias entre los pares de medias de la prueba hedónica de las muestras de pasta analizadas.....	53
XX.	Pares de promedio comparados para determinar si son iguales o no.....	54
XXI.	Análisis de varianza de la mezcla de pasta realizada con semilla cruda y tostada con 0 % de harina de semilla de chan .....	55
XXII.	Prueba de Tukey para muestra de pasta con 0 % de chan.....	55
XXIII.	Análisis de varianza de la mezcla de pasta realizada con semilla cruda y tostada con 7 % de harina de semilla de chan .....	56
XXIV.	Prueba de Tukey para muestra de pasta con 7% de chan.....	56
XXV.	Análisis de varianza de la mezcla de pasta realizada con semilla cruda y tostada con 15 % de harina de semilla de chan .....	57
XXVI.	Prueba de Tukey para muestra de pasta con 15 % de chan.....	57
XXVII.	Pares de promedio comparados para determinar si son iguales o no.....	58
XXVIII.	Métodos de referencia para el análisis proximal .....	59
XXIX.	Composición química y nutricional de las mezclas de pasta enriquecidas con 0,3,7,10 y 15 % de semilla de chan.....	61
XXX.	Composición química y nutricional de las mezclas con semilla cruda y tostada.....	64
XXXI.	Prueba de Tukey para determinar si existe diferencia entre las muestras de pasta realizadas con semilla cruda y seca añadiendo 0, 7 y 15 % de semilla de chan .....	64
XXXII.	Resumen del diagrama de flujo de proceso de la elaboración de pasta de harina de semilla de cebada, amaranto y chan .....	72



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>n</b>	Cantidad de corridas
<b>N</b>	Cantidad de datos tratados
<b>Z</b>	Confiabilidad
<b>W</b>	Comparador
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>GI</b>	Grados de libertad
<b>g</b>	Gramos
<b><math>\alpha</math></b>	Intervalo de rechazo
<b>M1</b>	Mezcla 1 con 0 % de chan
<b>M3</b>	Mezcla 3 con 7 % de chan
<b>M5</b>	Mezcla 5 con 15 % de chan
<b>mm</b>	Milímetro
<b>ml</b>	Mililitro
<b>SCE</b>	Suma de cuadrados error
<b>SCT</b>	Suma de cuadrados total
<b>SCTr</b>	Suma de cuadrados tratamiento



## GLOSARIO

<b>Alimento complementario</b>	Cualquier alimento modificado o ingrediente alimenticio que pueda proveer un beneficio para la salud, más del que ordinariamente proporcionan los nutrimentos que contiene en su forma natural.
<b>Aminoácidos</b>	Son los principales polímeros estructurales y funcionales de los seres vivos, siendo estos una molécula orgánica constituida por un grupo amino y un grupo carboxilo.
<b>Escala hedónica</b>	Es una medición de las preferencias, con el objetivo de evaluar la aceptación o rechazo de un producto terminado.
<b>Extracto</b>	Sustancia que, en forma concentrada, se extraerá de otra de la cual conservará sus propiedades esenciales y constitutivas.
<b>Fibra cruda</b>	Es la que representa la porción no digerible de los alimentos y que no brinda un valor alimenticio, pero es importante para el buen funcionamiento del intestino.

<b>Fibra insoluble</b>	Tipo de fibra que no se disuelve en el agua, pero tiene la capacidad de absorberla. Está formada por: celulosa, hemicelulosa, almidón y lignina.
<b>Fibra soluble</b>	Tipo de fibra que se disuelve en el agua y al disolverse forma un gel o gelatina en el intestino. Está formada por: pectinas, gomas y mucílagos.
<b>Harina de amaranto</b>	Harina extraída de los granos de amaranto. Contiene una elevada cantidad de proteínas, fibras y lisina. No contiene gluten.
<b>Harina de cebada</b>	Harina extraída de los granos de cebada. Contiene más proteínas que la harina de trigo. Es rica en proteínas, minerales y vitaminas. No contiene lisina.
<b>Harina de chan</b>	Harina extraída de la semilla de chan. Contiene una elevada cantidad de proteínas, minerales y vitaminas. No contiene gluten. Se le considera un superalimento por sus propiedades.
<b>Proteínas</b>	Macromoléculas compuestas por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y la mayoría también contienen azufre y fósforo. Están formadas por la unión de varios aminoácidos, unidos mediante enlaces peptídicos.

## RESUMEN

Para el desarrollo de la formulación de una harina a base de semillas cultivadas desde la época precolombina, se hará un estudio con el fin de determinar los beneficios nutricionales de tres mezclas de harina en diferentes proporciones: semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*), cebada (*Hordeum vulgare*) y chan (*Salvia hispánica L*). La buena calidad nutritiva que aporta cada semilla ha causado interés para combatir la desnutrición y así resolver diversos problemas alimenticios a nivel nacional.

Una de las propiedades de la semilla de cebada (*Hordeum vulgare*), es que posee un alto contenido de fibra soluble, imprescindible para el equilibrio de la microbiota intestinal contribuyendo a la eliminación del estreñimiento. El contenido proteico de la semilla de amaranto (*Amaranthus cruentus*), oscila entre 14 y 18% siendo de alta calidad ya que posee un alto contenido de aminoácidos esenciales en especial, lisina, que es deficiente en otros granos como el trigo. Cabe mencionar que la semilla de chan (*Salvia hispánica L*), brinda un alto contenido de omega 3 que reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares. También favorece el funcionamiento del sistema inmunológico.

El estudio se realizó por medio de análisis cualitativos y cuantitativos. Entre las pruebas realizadas al producto están: pruebas sensoriales y análisis proximal, obteniéndose por medio de estas, el mejor perfil del producto y la composición de macro nutrientes en la pasta. Además de esto, se llevó a cabo una prueba hedónica de nueve puntos, por medio de la cual se determinaron los atributos sensoriales y por ende el grado de aceptabilidad.

A través de los resultados obtenidos se analizó y determinó la viabilidad del uso de la mezcla más aceptada para ofrecer una harina compuesta, alternativa que pueda ser utilizada en la industria de elaboración de pastas y los cálculos respectivos para la elaboración del producto a partir de las características de la materia prima y los equipos recomendados a utilizar.



## OBJETIVOS

### General

Formular una harina compuesta a base de semilla de cebada (*Hordeum vulgare*); amaranto (*Amaranthus cruentus*) y semilla de chan (*Salvia hispánica L*), en distintas cantidades y evaluar las propiedades sensoriales y nutricionales de la mezcla con diagramación del proceso de producción para la elaboración de pastas.

### Específicos

1. Desarrollar la formulación de cinco mezclas de harina de semilla de cebada; amaranto en proporciones iguales enriquecida con harina de semilla de chan en porcentajes desde 0, 3, 7, 10, 15 % en una mezcla de 100 gramos para obtener un balance adecuado de nutrientes.
2. Determinar el valor nutricional de cinco mezclas de harina de cebada y amaranto al adicionar semillas de chan en las distintas proporciones por medio de un análisis proximal de humedad, energía, proteína, grasas, carbohidratos, cenizas y fibra cruda.
3. Realizar una evaluación organoléptica de la pasta hecha de tres mezclas de harina de cebada y amaranto, enriquecida con harina de semilla de chan (0, 7 y 15 %), que presenten el mejor valor nutricional con base en una escala hedónica de nueve puntos.

4. Realizar el diagrama del proceso de producción para la elaboración de pastas a partir de la harina de cebada y amaranto enriquecida con harina de semillas de chan.

## **Hipótesis a**

El valor nutricional de la mezcla de harina de cebada y amaranto (*Amaranthus cruentus*), aumenta conforme se agrega harina de semilla chan (*Salvia hispánica L*) a la formulación.

### **Hipótesis nula:**

No existen cambios significativos en el valor nutricional de la harina de cebada con amaranto (*Amaranthus cruentus*) y la harina que se enriquece al adicionar harina de chan (*Salvia hispánica L*) en las proporciones planteadas.

$$\mu_1 = \mu_2$$

### **Hipótesis alternativa:**

Existen cambios significativos en el valor nutricional de la harina de cebada con amaranto (*Amaranthus cruentus*) y la harina que se enriquece al adicionar harina de chan (*Salvia hispánica L*) en las proporciones planteadas.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$

## **Hipótesis b**

Conforme aumenta la proporción de chan (*Salvia hispánica L*), en la mezcla de harina formulada disminuye la aceptabilidad sensorial del producto.

**Hipótesis nula:**

No existen cambios significativos en la aceptabilidad sensorial conforme aumenta la proporción de chan (*Salvia hispánica L*), en la mezcla de harina formulada.

$$\mu_1 = \mu_2$$

**Hipótesis alternativa:**

Existen cambios significativos en la aceptabilidad sensorial conforme aumenta la proporción de chan (*Salvia hispánica L*), en la mezcla de harina formulada.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$

**Hipótesis c**

Las propiedades nutricionales de la mezcla de semillas molidas sin deshidratar son mayores a la mezcla de harina con semilla deshidratada.

**Hipótesis nula:**

Las propiedades nutricionales de la mezcla de semillas molidas sin deshidratar no son mayores a la mezcla de harina con semilla deshidratada.

$$\mu_1 = \mu_2$$

**Hipótesis alternativa:**

Las propiedades nutricionales de la mezcla de semillas molidas sin deshidratar son menores a la mezcla de harina con semilla deshidratada.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$



## INTRODUCCIÓN

Un problema común que afecta a Guatemala es la desnutrición. El país tiene el índice más alto de desnutrición crónica de Centro América y ocupa el quinto lugar a nivel mundial en casos de desnutrición crónica infantil según la entrevista realizada en agosto del 2016 al representante en Guatemala de la UNICEF. Esto tiene como consecuencia la pérdida de los nutrientes que intervienen en diversas funciones y reacciones vitales en el cuerpo y origina trastornos en la salud, causando susceptibilidad a adquirir diversas infecciones. Además, ocasiona una alteración en la absorción, distribución, metabolismo y eliminación de los mismos.

Pese a que Guatemala es un país agrícola que cultiva y produce productos de alto contenido nutricional, no se aprovecha el consumo de los mismos. Un ejemplo de ello son los cereales. Los cereales son cultivados con facilidad y tienen un valor monetario bajo en comparación con otros productos. Son fuente principal de energía en la dieta y, debido a que es un alimento básico, el consumo es mayor que cualquier otro alimento. Una de las ventajas de éstos es que pueden ser preparados fácilmente para consumo y pueden ser almacenados por largos periodos de tiempo.

Para revalorizar semillas que poseen un alto valor nutricional y que no son comúnmente utilizadas, a pesar de las bondades alimenticias que brindan, se hizo un estudio en el que se determinaron los componentes nutricionales de mezclas de harina de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*), cebada (*Hordeum vulgare*) y chan (*Salvia hispánica L*) y la viabilidad del uso de estos

granos para uso industrial en la elaboración de pastas y así, producir un alimento de alta calidad nutricional para consumo.

Para ello, se investigó sobre los beneficios nutricionales de las semillas de estudio que se presentan en el marco teórico, para luego, formular mezclas con un balance adecuado de nutrientes y determinar las variables, materiales y procedimientos necesarios para el proceso de elaboración y análisis de harina y pasta que se presentan en el diseño metodológico, con el fin de determinar la calidad nutritiva de las mismas y evaluar la aceptabilidad del producto por medio del análisis sensorial presentado en los resultados.

Por medio del balance de masa y energía se calcularon los valores a partir de una alimentación de semillas en una línea de producción para la elaboración del producto final. En la sección de conclusiones se hizo el enfoque de los resultados obtenidos y la demostración de las hipótesis planteadas junto con las recomendaciones del estudio de investigación.



# 1. ANTECEDENTES

El grano de amaranto (*Amaranthus cruentus*), en conjunto con el maíz, frijol y chan (*Salvia hispánica L*) tienen presencia en el continente americano desde antes de la llegada de los españoles. El consumo de estos cereales y pseudocereales data desde la antigüedad, aproximadamente hace 4000 años a.C. o más. Los primeros en cultivarlos fueron los mayas, posteriormente los aztecas e incas, quienes utilizaron los granos como base alimenticia y también como ritual en las ceremonias religiosas.<sup>1</sup>

El desconocimiento de los conquistadores hacia dichos rituales provocó la abolición de las ceremonias, ya que eran consideradas como una perversión y burla hacia la religión católica, creando una caída en la producción de ciertos granos a fin de eliminar los rituales paganos. Hoy en día, gracias a diversos estudios, se conoce que la semilla de amaranto, cebada y chan contiene un alto valor nutritivo respecto a otros cereales.<sup>2</sup>

La Universidad del Valle de Guatemala publica anualmente revistas con artículos realizados por docentes y alumnos sobre estudios efectuados en ciencia y tecnología. En 2011 publicó un artículo breve titulado: caracterización de la semilla de chan (*Salvia hispánica L*) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. Fue elaborado por la Licda. en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos, Dolores Ixmucané Alvarado Ruplin.

El objetivo principal del estudio fue determinar la composición de nutrientes de la semilla de chan cultivada en Cunén, El Quiché, y a partir del contenido de ácido graso alfa linoleico, diseñar una barra que contara con alto contenido de este nutriente. Los resultados del análisis proximal de esa investigación no varían significativamente de los valores obtenidos en las literaturas consultadas.

En marzo de 2014 en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia se realizó un estudio titulado: valor nutritivo y evaluación de aceptabilidad de una galleta formulada a base de trigo, amaranto y ajonjolí en niños escolares elaborado por Leslie Jeanette Palma Colindres.

Este estudio tenía como objetivo formular una galleta de alto valor nutritivo y aceptable por niños en edad escolar. Para ello determinó el valor nutritivo por medio de puntaje químico y análisis químico proximal de las galletas elaboradas a base de la mezcla vegetal y se evaluó la aceptabilidad del color, olor, sabor y dureza de las galletas. Concluyó que la combinación de estos granos permite obtener excelentes resultados nutricionales en la galleta, mejorando su aporte de

---

<sup>1</sup> MAPES, Emma. *El Amaranto*. p. 6.

<sup>2</sup> GONZÁLES, Yólotl. *Animales y plantas en la cosmovisión mesoamericana*. p. 18.

proteína gracias a los aminoácidos lisina y metionina haciéndola de alto valor biológico.

En junio de 2014 se realizó un estudio en la Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias de la Salud, el cual se titula: desarrollo de una harina a base de semilla de Amaranto (*Amaranthus cruentus*), Chía (*Salvia hispánica*) y Ayote (*Curcubita moschata*) hecho por Alejandra Carolina Flores Pérez. Este trabajo busca elaborar una harina a base de semilla de Amaranto, Chía y Ayote para ser aceptada por madres que asisten a centros de salud situados en la cabecera de Jalapa, San Pedro Pinula y Monjas.

Para esta investigación se analizaron los recursos locales de los insumos básicos utilizados para la elaboración de las recetas, luego se elaboraron dos formulaciones de harina y se realizó el análisis bromatológico de las mismas. También se estandarizaron cinco recetas (tayuyo, dobladas, atol, refresco y sopa), a las que se les determinó el valor nutritivo. Finalmente se hicieron pruebas de aceptabilidad de las preparaciones realizadas.

En noviembre de 2014, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, se realizó un trabajo titulado: extracción y caracterización fisicoquímica del mucílago de la semilla de chan (*Salvia hispánica L*) para su aplicación como aditivo nutritivo y espesante en la elaboración de una bebida en polvo, elaborado por Génesis Andrea Nineth Guzmán Elizondo, quien busca extraer y caracterizar fisicoquímicamente el mucílago de la semilla de chan y realizar una comparación del análisis químico proximal de la semilla completa y del mucílago extraído.

Los parámetros como fibra, proteína y carbohidratos presentan casi las mismas proporciones, pero el extracto libre de nitrógeno se presenta en mayor cantidad y el extracto etéreo se presenta en menor cantidad para la semilla de chan.

Actualmente, se ha hecho frecuente el uso de distintas semillas en la dieta alimenticia del hombre. Esto debido a la variedad y gran cantidad de nutrientes que contienen, por lo que se vuelven aptos para llevar una dieta más completa<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> GONZÁLES, Yólotl. *Animales y plantas en la cosmovisión mesoamericana*. p. 20.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Semilla de amaranto (*Amaranthus cruentus*)

“Botánicamente, el grano proveniente del amaranto está catalogado como un pseudocereal ya que no pertenece a la familia de las gramíneas, las cuales engloba los cereales tradicionales, sin embargo, producen granos parecidos a las de las mismas”.<sup>4</sup>

La planta tiene un conjunto de racimos que contienen flores pequeñas que alojan una semilla que es el principal producto de la planta. Estas semillas pueden ser usadas de manera similar al resto de cereales, con un valor nutritivo diferente. Esta semilla posee un diámetro de 0,9 a 1,7 mm.

#### 2.1.1. Origen

El amaranto, o mejor conocido como bledo, es una semilla que, en conjunto con el maíz y frijol, fueron cosechados inicialmente por las civilizaciones precolombinas en Sur y Centroamérica teniendo presencia en el continente desde hace cuatro mil años a.C o más.

“El Amaranto (*Amaranthus cruentus*) es una planta perteneciente a la familia Amaranthacea que comprende 60 géneros y 800 especies de plantas herbáceas con características variantes”.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> BRESSANI, Ricardo. RODAS, Brenda. *Caracterización química y nutricional*. [http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-16/REV\\_16\\_pp\\_42-62\\_carac\\_quimi\\_y\\_nutri.pdf](http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-16/REV_16_pp_42-62_carac_quimi_y_nutri.pdf). Consulta: 20 de julio de 2016.

<sup>5</sup> *Ibíd.*

El género *Amarhantus* posee tres especies que son: *A. caudatus* proveniente de Perú, *A. hypochondriacus* y el *A. cruentus* cultivado en Guatemala y México.

Figura 1. **Semilla de amaranto (*Amaranthus cruentus*)**



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.  
[http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/en/c/82084/?dyna\\_fef%5Bbackuri%5D=211](http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/en/c/82084/?dyna_fef%5Bbackuri%5D=211)  
76. Consulta: 10 de junio de 2016.

### **2.1.2. Contenido nutricional**

“Las propiedades nutricionales del amaranto (*Amaranthus cruentus*) indican que es rico en proteína y posee altos niveles de aminoácidos. La digestibilidad del grano de amaranto es de 93 % siendo alto comparado con la digestibilidad que varía de 75 a 85 % de los demás cereales”.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> ORTEGA, Eduardo. *El amaranto – pequeñas semillas con fuerzas colosales*.  
<http://www.madeleine-porr.de/AMARANTO.pdf>. Consulta: 10 de octubre de 2015.

### 2.1.2.1. Proteínas

Las proteínas son vitales para el metabolismo teniendo funciones estructurales en los músculos y regenerando el organismo.

“La semilla de amaranto es rica en proteína con un valor de 14-17 por ciento. El contenido es de buena calidad por el alto contenido de aminoácidos esenciales como lisina y triptófano, que son limitantes en otros cereales. Por lo tanto, es un alimento con proteínas completas y es un excelente complemento proteínico”.<sup>7</sup> La tabla I. presenta el aporte de aminoácidos en 100 gramos de porción comestible:

Tabla I. **Aminoácidos en 100 gramos de semilla de amaranto**

Aminoácidos		A	Ce	Ch
Tryptophan	G	0,181	0,165	0,436
Threonine	G	0,558	0,337	0,709
Isoleucine	G	0,582	0,362	0,801
Leucine	G	0,879	0,673	1,371
Lysine	G	0,747	0,369	0,97
Methionine	G	0,226	0,19	0,588
Cystine	G	0,191	0,219	0,407
Phenylalanine	G	0,542	0,556	1,016
Tyrosine	G	0,329	0,284	0,563
Valine	G	0,679	0,486	0,95
Arginine	G	1,06	0,496	2,143
Histidine	G	0,389	0,223	0,531
Alanine	G	0,799	0,386	1,044
Aspartic acid	G	1,261	0,619	1,689
Glutamic acid	G	2,259	2,588	3,5
Glycine	G	1,636	0,359	0,943
Proline	G	0,698	1,178	0,776
Serine	G	1,148	0,418	1,049

Fuente: elaboración propia.

<sup>7</sup> BRESSANI, Ricardo. RODAS, Brenda. *Caracterización química y nutricional*. [http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-16/REV\\_16\\_pp\\_42-62\\_carac\\_quimi\\_y\\_nutri.pdf](http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-16/REV_16_pp_42-62_carac_quimi_y_nutri.pdf). Consulta: 20 de julio de 2016.

El balance de aminoácidos en el amaranto, está cercano al requerido para la nutrición humana.

### **2.1.2.2. Grasas**

La grasa del amaranto (*Amaranthus cruentus*) no posee colesterol. Las grasas son una importante fuente de calorías y facilitan la absorción de vitaminas liposolubles. Presenta un valor de 6,51 gramos de grasa total por 100 gramos de porción comestible, el cual es mayor al presentado por arroz, centeno y maíz con 0,58, 2,5 y 4,74 gramos respectivamente. Alrededor del 70 % de grasa son ácidos grasos insaturados. El ácido predominante es el linoleico o mejor conocido como omega-6. El amaranto aporta valores de 1,43 g de ácidos grasos monosaturados, 2,89 g de ácidos grasos poli insaturados y 1,66 g de ácidos grasos saturados.<sup>8</sup>

### **2.1.2.3. Carbohidratos**

El contenido de hidratos de carbono en la semilla es de 66,27 gramos por 100 gramos de porción comestible. A pesar de tener menor valor de carbohidratos respecto al arroz, trigo y avena con 79,34, 66,27 y 71,18 gramos por 100 gramos de porción comestible respectivamente, sigue siendo buena fuente de energía para el organismo respecto a otros cereales como algunas variedades del grano de maíz. La semilla contiene almidón, sacarosa (1,4 gramos), glucosa (0,27 gramos) y en menor porción fructosa con 0,01 gramos por 100 gramos de semillas.<sup>9</sup>

### **2.1.2.4. Fibra dietética**

El concepto actual de fibra dietética, la define como los componentes de la dieta de origen vegetal, que son resistentes a las enzimas digestivas del hombre y químicamente estaría representado por la suma de los polisacáridos, que no son almidones ni lignina, con efecto laxante.

El contenido en la semilla de amaranto es de 6,7 gramos por 100 gramos de semilla.<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> BRESSANI, Ricardo. RODAS, Brenda. *Caracterización química y nutricional*. [http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-16/REV\\_16\\_pp\\_42-62\\_carac\\_quimi\\_y\\_nutri.pdf](http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-16/REV_16_pp_42-62_carac_quimi_y_nutri.pdf). Consulta: 20 de julio de 2016.

<sup>9</sup> GONZÁLES, Yólotl. *Animales y plantas en la cosmovisión mesoamericana*. p. 20.

<sup>10</sup> Op. Cit.

### 2.1.2.5. Micronutrientes

“El amaranto es rico en vitamina C, con 4 mg por 100 gramos de semillas. La importancia de esta vitamina radica en la reparación de tejidos en todas las partes del cuerpo ya que actúa como antioxidante. Según investigaciones, la deficiencia de esta vitamina causa la enfermedad llamada escorbuto”.<sup>11</sup>

También presenta Tiamina con 0,08 mg, riboflavina con 0,21 mg y niacina con 1,29 mg por 100 gramos de semilla.

“Respecto a la presencia de minerales, la semilla de amaranto es rica en calcio, magnesio, fósforo y potasio. El aporte de calcio del amaranto (153 mg) respecto al valor recomendado diario es del 11,76 %. También presenta sodio, manganeso y hierro (4 mg) cubriendo el 22 % de la dosis diaria en mujeres y el 50 % en hombres”.<sup>12</sup>

## 2.2. Semilla de cebada (*Hordeum vulgare*)

Una de las mayores fuentes de consumo del grano de cebada, es para la elaboración de cerveza. También se han comercializado distintos productos provenientes de dicho grano, como la harina de cebada para la industria de panificación. La semilla es conocida por poseer un alto contenido de fibra soluble, que ayuda a mantener un equilibrio en la flora intestinal, y por presentar propiedades similares al trigo.

---

<sup>11</sup> USDA. s.f. *National Nutrient Database for Standard Reference Full Report (All Nutrients) 20001, Amaranth grain, uncooked Report*. [<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3610>]. Consult: 25 de septiembre de 2015.

<sup>12</sup> ORTEGA, Eduardo. *El amaranto – pequeñas semillas con fuerzas colosales*. <http://www.madeleine-porr.de/AMARANTO.pdf>. Consulta: 10 de octubre de 2015.

### **2.2.1. Origen**

La cebada (*Hordeum vulgare*) es perteneciente a la familia *Poaceae*. Su cultivo data y procede de Asia y África septentrional, siendo de las primeras plantas cultivadas. El cultivo tolera suelos más pobres y temperaturas más bajas que el cultivo de trigo. El grano de cebada contiene gluten en poca cantidad, por ello, si se utiliza como alimento humano para la industria de panificación, debe mezclarse con otros cereales para dar mayor volumen al producto.

### **2.2.2. Clases de cebada**

Las espigas de la cebada se caracterizan por tener un arreglo de granos particularmente largos. Por su morfología se clasifican en dos clases que son:

- Cebada de dos carreras: las espigas de dos carreras tienen dos hileras paralelas de granos maduros y es utilizada para la producción de malteado en la fabricación de cerveza.



Figura 2. **Cebada de dos carreras**



Fuente: *Material vegetal*. <http://www.magrama.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=1484>. Consulta: 28 de enero de 2016.

- Cebada de seis carreras: las espigas de seis carreras poseen seis hileras paralelas de granos maduros. Se destaca por sus excelentes cualidades para alimentación animal y humana debido a su alto contenido de fibra y proteínas.

Figura 3. **Cebada de seis carreras**



Fuente: *Syngenta*. <https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Noticias-Syngenta-Seeds-S-A-174317.html?H=1>. Consulta: 10 de octubre de 2015.

### **2.2.3. Contenido nutricional**

El valor nutricional del grano de cebada es importante para evaluar su calidad y así ser utilizado en la alimentación diaria. Las propiedades nutricionales de la cebada (*Hordeum vulgare*), son similares a la semilla de trigo.

Estos granos son utilizados como fuentes energéticas en la alimentación humana y animal por ser rico en carbohidratos. También son reguladores en la digestión por el alto contenido de fibra proveniente de la cascarilla o cubierta del grano.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en 2005, este grano está conformado por un 3,5 % de germen, un 18 % de pericarpio y un 78,5 % de endospermo, que son la mayor fuente de azúcares y fibra.

#### **2.2.3.1. Proteínas**

La calidad del grano, está presente en la cantidad de nutrientes que brinda. Los gramos de proteína, por 100 gramos de porción comestible que presenta la semilla de cebada (*Hordeum vulgare*), es de 12,48 g, siendo un valor bajo respecto a otros granos. Por este motivo, es utilizado en su mayoría para la industria cervecera, por lo tanto, para este proceso, no debe poseer un alto contenido de proteína. La distribución de proteínas en el grano no es uniforme, pero el endospermo es la parte que mayor porcentaje de proteínas presenta seguido del germen.

Este cereal contiene todos los aminoácidos esenciales, sin embargo, presenta deficiencia de algunos como lisina, metionina, treonina e isoleucina.

Esto se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla II. **Aminoácidos en 100 gramos de semilla de cebada**

<b>AMINO ACIDS</b>		<b>Ce</b>
Tryptophan	G	0,165
Threonine	G	0,337
Isoleucine	G	0,362
Leucine	G	0,673
Lysine	G	0,369
Methionine	G	0,190
Cystine	G	0,219
Phenylalanine	G	0,556
Tyrosine	G	0,284
Valine	G	0,486
Arginine	G	0,496
Histidine	G	0,223
Alanine	G	0,386
Aspartic acid	G	0,619
Glutamic acid	G	2,588
Glycine	G	0,359
Proline	G	1,178
Serine	G	0,418

Fuente: elaboración propia.

En general, los cereales son caracterizados por ser ricos en ácido glutámico y aspártico que son necesarios para diversas reacciones metabólicas en el organismo.

En el grano de cebada se encuentran proteínas como la glutelina en un 41 %, una prolamina en un 38 %, una globulina en un 18 % y una albúmina en un 3 %.

#### **2.2.3.2. Grasas**

El grano de cebada presenta una proporción baja de 2,30 gramos de grasa por 100 gramos de porción comestible, siendo los ácidos grasos poli insaturados los de mayor presencia con 1,11 g. El ácido linoleico, linolénico y oleico son los ácidos grasos predominantes, por lo tanto, son más susceptibles a la rancidez al ser almacenados.

#### **2.2.3.3. Hidratos de carbono**

La cebada (*Hordeum vulgare*) es rica en carbohidratos presentando 73,48 gramos por 100 gramos de semilla, siendo una buena fuente de energía en la alimentación. Sin embargo, el contenido no es mayor al presente en el trigo y maíz. La mayor parte de este nutriente se encuentra en forma de granos de almidón en la parte del endospermo. Los almidones de este cereal usualmente contienen cerca del 25 % de amilasa y 75 % de aminopectinas. Según la FAO <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/AB492S07.htm>.

#### **2.2.3.4. Fibra dietética**

El contenido de fibra dietética en la semilla de cebada es de 15,6 gramos por 100 gramos de porción comestible, siendo mayor al trigo y maíz. Esto se observa en la tabla VI. Generalmente, la fibra de los granos de cereal es más alto en aquellas especies que contienen una cascarilla o cubierta, como los granos de cebada, arroz o avena. Debido a que la fibra soluble que presenta la

cebada es abundante, ayuda a producir la sensación de saciedad en el organismo.

#### **2.2.3.5. Micronutrientes**

Este cereal presenta, en su mayoría, las vitaminas del grupo B, siendo la riboflavina, niacina y tiamina las principales, distribuidas por todo el grano. Estas se encuentran en la capa de aleurona o la parte exterior del endospermo y dentro del germen del grano. La semilla de cebada es deficiente en vitamina A, C y D.

Los cereales brindan calcio en valores menores al fósforo y magnesio. A pesar de ser buena fuente de minerales, es necesario mencionar que la mayor parte de fósforo se encuentra en forma de fitatos, y son perjudiciales porque evitan la absorción de otros minerales. En algunos cereales como la avena, arroz y cebada, el contenido de minerales en la cáscara es más alto que en las semillas. El grano de cebada es rico en potasio, el cual es esencial para mantener el equilibrio osmótico en las células del organismo.

### **2.3. Semilla de chan (*Salvia hispánica L*)**

Actualmente, se señala que la semilla de chan se ha revalorizado como insumo en la alimentación humana como complemento en bebidas, pero se ignoran los beneficios que brinda. Uno de ellos es que la semilla no posee gluten, haciéndola apta para personas que padecen enfermedad celíaca.

### 2.3.1. Origen

El chan, también conocido como chía (*Salvia hispánica L*), es un pseudocereal, al igual que el amaranto. En conjunto con el maíz, frijol y amaranto es parte esencial de la cultura mesoamericana. Es una planta herbácea de la familia de las Lamiáceas. Generalmente, florece de febrero a julio y se cultiva en Guatemala, México, Bolivia y Nicaragua.

Fue de los cuatro cultivos básicos destinados a la alimentación en la época precolombina. Era fuente de energía para travesías prolongadas y alimento para los guerreros, por eso es conocida como el alimento de las caminatas<sup>13</sup>.

La planta de chan requiere un clima tropical o sub-tropical con temperaturas de crecimiento ideales entre los 20 a 30 °C.

La semilla es rica en mucílago, fécula y aceite. Mide aproximadamente 2 mm de largo por 1,5 mm de ancho y tiene forma ovalada, es brillante de color marrón combinado con gris y líneas negras.

Figura 4. Semilla de chan



Fuente: Publicación cuatrimestral de la Facultad de Ciencias Agrarias. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/24/3AM24.htm>. Consulta: 10 de octubre de 2015.

---

<sup>13</sup> AYERZA, Ricardo; COATES, Wayne. *Chía*. p. 112.

### **2.3.2. Contenido nutricional**

“Se le confiere un alto potencial como suplemento alimenticio debido a su contenido de vitaminas, minerales, proteínas y fibra. Por su alto contenido en hierro se ha recomendado como alimento para mujeres embarazadas o que están lactando”.<sup>14</sup>

Posee todos los aminoácidos esenciales y “sobresale por su contenido de ácidos grasos esenciales ya que su aceite contiene un 19 % de ácido graso linoleico y un 63,9 % de ácido graso alfa linoleico, clasificado como omega 3.”<sup>15</sup>

#### **2.3.2.1. Proteínas**

“El contenido de proteína por 100 gramos de porción comestible es de 16.54 gramos. Siendo una dosis mayor a las dos semillas anteriormente descritas y mayor al centeno (14,76 %) y maíz (9,42 %). Este pseudocereal es libre de gluten, que lo diferencia del resto de cereales”.<sup>16</sup>

El gluten es una glicoproteína (molécula compuesta por una proteína unida a uno o varios glúcidos) y un agente gelificante y emulgente, que liga las moléculas de agua y por tanto funciona como elemento estructurador. A pesar que una proporción baja de la población es afectada por la intolerancia al gluten, la semilla de chan es una alternativa para los que padecen de enfermedad celiaca.

---

<sup>14</sup> AYERZA, Ricardo., COATES, Wayne. *Chía*. p. 112.

<sup>15</sup> ALVARADO RUPLIN, Dolores Ixmucané. *Caracterización de la semilla de chan (Salvia hispánica L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente*. [http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-23/REVISTA\\_23\\_pag\\_43-49.pdf](http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-23/REVISTA_23_pag_43-49.pdf). Consulta: 15 de octubre de 2015.

<sup>16</sup> Op. Cit. p. 112.

Posee todos los aminoácidos esenciales, principalmente treonina, leucina, fenilamina, valina y lisina, el cual es deficiente en la mayoría de los cereales. Esto se puede ver en la tabla III. Esta semilla es recomendada para las personas que no consumen alimentos de origen animal para complementar y balancear los nutrientes en su organismo.

Tabla III. **Aminoácidos esenciales y no esenciales en la semilla de chan (*Salvia hispánica L*), en gramos por 100 gramos de semilla**

AMINO ACIDS		Ch
Tryptophan	G	0,436
Threonine	G	0,709
Isoleucine	G	0,801
Leucine	G	1,371
Lysine	G	0,970
Methionine	G	0,588
Cystine	G	0,407
Phenylalanine	G	1,016
Tyrosine	G	0,563
Valine	G	0,950
Arginine	G	2,143
Histidine	G	0,531
Alanine	G	1,044
Aspartic acid	G	1,689
Glutamic acid	G	3,500
Glycine	G	0,943
Proline	G	0,776
Serine	G	1,049

Fuente: elaboración propia.



### **2.3.2.2. Grasas**

La semilla de chan (*Salvia hispánica L*), es rica en grasa, presentando 30,74 gramos por 100 gramos de semilla en la tabla VI. Principalmente es representado por ácidos grasos esenciales poli insaturados, en su mayoría por ácido alfa linoleico del grupo omega 3 con 63,8 % y ácido linolénico del grupo omega 6 con 19 %. Dichos ácidos grasos son los que el cuerpo no puede producir, sino que es necesario ingerirlos a través de la alimentación.

El aceite del chan supera al aceite proveniente de girasol, canola, oliva, palma, soya y maíz en cuanto al contenido del ácido graso alfa linoleico según el Artículo breve sobre la Caracterización de la semilla de chan (*Salvia hispánica L*), de la revista número 23 publicada por la Universidad del Valle de Guatemala.

La semilla de chan en conjunto con la semilla de linaza, son de las pocas fuentes de ácidos grasos obtenidos a través del cultivo agrícola, en comparación con las algas y el pescado, los cuales son de origen marino. Cabe mencionar que éstas contienen colesterol, mientras que las de origen vegetal no presentan.

### **2.3.2.3. Hidratos de carbono**

Los carbohidratos presentes en la semilla de chan (*Salvia hispánica L*), son de 43,85 gramos por 100 gramos de porción comestible. De esta cantidad, un 30 % es fibra insoluble y el 3 % se presenta como fibra soluble. Dicha semilla no supera al contenido de cereales como: cebada (73,48 g), arroz (75 g), trigo (71,18 g) entre otros.

#### **2.3.2.4. Fibra dietética**

La semilla de chan (*Salvia hispánica L*), es rica en fibra dietética, ya que presenta un valor de 37,70 gramos por 100 gramos de semilla en la tabla VI, siendo tres veces mayor al valor presente en la avena, amaranto, cebada, arroz y trigo. Alrededor del 50 % de fibra dietética es insoluble y 5 % de fibra soluble, lo que resta son almidones esenciales. Esto indica que tiene una extraordinaria capacidad de retención de agua al formar mucílago, debido a la formación de un gel por la reacción entre agua y la semilla, ayudando a que el cuerpo prolongue la hidratación.

También provoca que la conversión a glucosa sea constante y lenta debido a que permite que los carbohidratos sean digeridos lentamente. Esto no permite que se eleve de manera abrupta la glucosa en la sangre, beneficiando a las personas que padecen diabetes.

La fibra insoluble no se disuelve al estar en contacto con agua, pero ayuda a la regulación del tránsito intestinal. Otros beneficios de la fibra dietética son el de reducir el colesterol, aumentar el bolo fecal y dar la sensación de saciedad.

#### **2.3.2.5. Micronutrientes**

En materia de vitaminas, la semilla de chan (*Salvia hispánica L*), presenta valores bajos de vitamina C pero valores significativos en vitaminas del grupo B como tiamina, riboflavina y en su mayoría, niacina, las cuales disminuyen el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares.

La semilla es buena fuente de calcio (importante para la formación de huesos), magnesio, hierro, fósforo y potasio presentando contenidos mayores a

la cebada, maíz, avena, amaranto y arroz. Es pobre en sodio y manganeso. Esto se puede observar en la tabla IV. Es por eso que, por el alto contenido de hierro, se ha recomendado como alimento o complemento para mujeres, especialmente las que se encuentran en estado de gestación y las que lactan.

Tabla IV. **Micronutrientes en diferentes semillas por 100 gramos de semilla**

<b>MINERALS</b>		<b>Amaranto</b>	<b>Cebada</b>	<b>Chan</b>
Calcium, Ca 1	Mg	159	29	631
Iron, Fe 1	Mg	7,61	2,5	7,72
Magnesium, Mg 1	Mg	248	79	335
Phosphorus, P 1	Mg	557	221	860
Potassium, K 1	Mg	508	280	407
Sodium, Na 1	Mg	4	9	16
Zinc, Zn 1	Mg	2,87	2,13	4,58
Copper, Cu 1	Mg	0,525	0,42	0,924
Manganese, Mn 1	Mg	3,333	1,322	2,723
Selenium, Se 1	µg	18,7	37,3	55,2

Fuente: elaboración propia.

### **2.3.2.6. Antioxidantes**

Debido al crecimiento exponencial de contaminación atmosférica, pesticidas, smog, humo de tabaco, entre otros, el humano ingiere o inhala contaminantes externos que penetran al organismo generando radicales, son especies caracterizadas por poseer electrones desapareados. El organismo no suele ser capaz de neutralizar todos los radicales a los que se expone diariamente, por lo que recurre a ingerir nutrientes capaces de neutralizarlos.

Estos nutrientes liberan electrones en la sangre, que son captados por los radicales, estabilizando las moléculas por medio de reacciones de oxidación. Los compuestos con la capacidad de prevenir o retardar la oxidación de otras moléculas son llamados antioxidantes. La semilla de chan (*Salvia hispánica L*), contiene ácido clorogénico y ácido cafeico que exhiben actividad reductora contra fuertes radicales libres e inhiben la peroxidación de lípidos. Según el Artículo breve sobre la Caracterización de la semilla de chan (*Salvia hispánica L*), de la revista número 23 publicada por la Universidad del Valle de Guatemala.

Además de contener flavonoides como: miricetina, quercetina y kaempferol, los cuales previenen la oxidación de ADN, lípidos y proteínas.

### **2.3.3. Ingesta diaria**

La Comisión Europea recomienda un consumo diario de semillas menor a 15 gramos, lo que equivale a 2 cucharadas. Esto se debe a que no se encuentran estudios toxicológicos suficientes que determinen los riesgos y efectos secundarios a la salud.

## **2.4. Alimentos nutricionalmente mejorados ANM**

Los ANM o alimentos nutricionalmente mejorados son aquellos a los que se les ha mejorado la calidad de su proteína por medio de la técnica de complementación, la cual se basa en proporcionar una cantidad y calidad adecuada de todos los nutrientes esenciales para cubrir los requerimientos que permitan un crecimiento y desarrollo adecuados.

### **2.4.1. Harinas compuestas**

Dentro de la clasificación de los ANM entran las harinas compuestas, que, de acuerdo con el concepto expresado por la FAO, se refiere a mezclas elaboradas para producir alimentos a base de trigo, como pan, pastas, y galletas. Conforme el tiempo se estableció que las harinas compuestas se podrían elaborar a base de otros cereales pudiendo contener o no, trigo.

El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) propuso extender el concepto de harinas compuestas para incluir:

- Cereales a los que se les adiciona proteína suplementaria
- Harinas compuestas a base de cereales, oleaginosas u otras

#### **2.4.1.1. Pasta**

La pasta es un producto alimenticio proveniente de la mezcla de harina de cereal, usualmente trigo, con huevo, agua y aceite para crear una masa moldeable que, cortada y secada adecuadamente, es apta para consumo humano.

Según la UNAD en la lección de Proceso de producción de pastas alimenticias: El contenido de agua, que se adiciona en el momento del amasado es de 18-25 %, con respecto a las materias primas secas, consiguiéndose entonces una masa con 30-32 % de humedad y un producto terminado con 12,5 % de agua con respecto a la masa.

La calidad de las mismas depende de la materia prima a utilizar, la formulación y el proceso de elaboración. Las pastas se están convirtiendo además, en un alimento muy popular en algunos países en desarrollo.

#### 2.4.1.1.1. Contenido nutricional de pastas

El valor nutritivo de las pastas depende de la materia prima utilizada, ya sea la clase de cereal y los aditivos para enriquecer la misma. También depende si la pasta es rellena o combinada con algún alimento en la porción a servir.

A continuación, se muestra el contenido nutricional de la pasta tradicional en la tabla siguiente:

Tabla V. Composición nutricional de pastas

NOMBRE	Agua	Energía	Proteína	Grasa Total	Carbo-	Fibra Diet.	Ceniza
	%	Kcal.	g	g	hidratos	total	g
PASTA C/HUEVO ENRIQUECIDA, COCIDA C/SAL	67.73	138	4.54	2.07	25.16	1.20	0.50
PASTA C/HUEVO ENRIQUECIDA, COCIDA S/SAL	67.73	138	4.54	2.07	25.16	1.20	0.50
PASTA C/HUEVO ENRIQUECIDA, CRUDA	9.01	384	14.16	4.44	71.27	3.30	1.12
PASTA C/HUEVO S/ENRIQUECER, RUDA	9.01	384	14.16	4.44	71.27	3.30	1.12
PASTA C/HUEVO S/ENRIQUECER, COCIDA C/SAL	67.73	138	4.54	2.07	25.16	1.20	0.50
PASTA C/HUEVO S/ENRIQUECER, COCIDA S/SAL	67.73	138	4.54	2.07	25.16	1.20	0.50
PASTA C/HUEVO Y ESPINACA, ENRIQUECIDA, CRUDA	8.72	382	14.61	4.55	70.32	6.80	1.79
PASTA ENLATADA, MACARRONES C/QUESO	81.39	82	3.38	2.46	11.52	0.50	1.25
PASTA ENLATADA, SPAGHETTI C/CARNE	78.24	107	4.17	5.10	11.11		1.38
PASTA ENLATADA, SPAGHETTI C/TOMATE&CARNE	77.09	104	3.78	3.60	14.19	0.90	1.34
PASTA ENRIQUECIDA, COCIDA C/SAL	62.13	157	5.80	0.93	30.59	1.80	0.55
PASTA ENRIQUECIDA, COCIDA S/SAL	62.13	158	5.80	0.93	30.86	1.80	0.27
PASTA ENRIQUECIDA, CRUDA	9.90	371	13.04	1.51	74.67	3.20	0.88
PASTA S/ENRIQUECER, COCIDA C/SAL	62.13	157	5.80	0.93	30.59	1.80	0.55
PASTA S/ENRIQUECER, COCIDA S/SAL	62.13	158	5.80	0.93	30.86	1.80	0.27
PASTA S/ENRIQUECER, CRUDA	9.90	371	13.04	1.51	74.67	3.20	0.88

Fuente: MENCHÚ, María; MÉNDEZ, Hector, *Tabla de composición de alimentos para Centroamérica*. p. 49.

## **2.5. Análisis sensorial**

Entre los análisis a productos alimenticios se deben de tomar en cuenta aquellos percibidos por los cinco sentidos. El análisis sensorial se basa en la medición científica de las características de un producto que influyen en la aceptación del producto a través del consumidor.

El análisis se lleva a cabo al catar el producto con la participación de los consumidores o con personas entrenadas, que determinan la aceptabilidad del mismo.

### **2.5.1. Escala hedónica**

Para medir las preferencias y el rechazo o aceptación del producto se hace uso del método de la evaluación hedónica, esta consta de nueve categorías que se convierten en puntaje numéricos que van del uno al nueve:

- Me disgusta extremadamente = 1
- Me disgusta mucho = 2
- Me disgusta moderadamente = 3
- Me disgusta un poco = 4
- Me es indiferente = 5
- Me gusta un poco = 6
- Me gusta moderadamente = 7
- Me gusta mucho = 8
- Me gusta extremadamente = 9

## **2.6. Análisis nutricional**

El análisis nutricional es un procedimiento que analiza y evalúa las características de los alimentos para determinar el valor nutricional de los mismos. Incluye un estudio químico proximal que se basa en el análisis bromatológico que permite conocer la composición cualitativa y cuantitativa de los alimentos, así como la calidad de los mismos a través de componentes nutricionales como: humedad, fibra cruda, proteína cruda, cenizas, extracto etéreo (grasas), materia seca total y extracto libre de nitrógeno (carbohidratos).

### **2.6.1. Materia seca según el método AOAC 930.15**

A través de la circulación continua de aire caliente se logra eliminar el agua libre en la muestra. Las variables son la temperatura de la corriente de aire y el tiempo que se expone la muestra al secado. Ambas son reguladas para lograr secar al máximo la muestra evitando pérdidas significativas de la muestra, esto quiere decir, la pérdida de sustancias volátiles.

El secado en estufa de aire (horno), es a temperatura de  $130 \pm 3$  grados Celsius durante una hora. Por el método de gravimetría se logra determinar el peso inicial y el final para conocer el porcentaje de agua en la muestra.

### **2.6.2. Extracto etéreo según el método Bateman 9.110**

El extracto etéreo, es la sustancia que en forma concentrada (ésteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres), se extraerá de otra que conservará sus propiedades esenciales y constitutivas. Se determina por medio de la extracción de grasas de la muestra con éter



etílico, para luego ser evaluada como porcentaje del peso tras la evaporación del solvente.

### **2.6.3. Fibra cruda AOAC 962.09**

La fibra cruda es la materia resultante tras la digestión de la misma con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en condiciones estandarizadas luego de perder masa por la incineración del residuo orgánico. Se busca que, al final de la prueba, la muestra contenga partes no digestibles, como celulosa, parte de lignina y otros.

### **2.6.4. Proteína cruda AOAC 976.05**

El proceso se basa en la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco, combinado con la oxidación de carbono a CO<sub>2</sub>. El amonio es retenido y puede ser determinado por destilación alcalina y titulación. Tras la descomposición se da la carbonización y la deshidratación de la materia orgánica.

### **2.6.5. Cenizas AOAC 942.05**

Cenizas se le llama a la materia o residuo inorgánico (sales minerales), que queda tras la calcinación de la materia orgánica. El método se basa en la calcinación y descomposición de la materia orgánica quedando únicamente la materia inorgánica de la muestra analizada.

La calcinación debe efectuarse a una temperatura adecuada, para evitar que la materia inorgánica sufra alguna alteración como descomposición o fusión si llega a ser elevada, y lograr que la materia orgánica se destruya totalmente.

#### **2.6.6. Extracto libre de nitrógeno Bateman 10.200**

El extracto libre de nitrógeno se refiere a la cantidad de carbohidratos contenidos en el alimento libres de celulosa (almidón, azúcares reductores y no reductores, hemicelulosas, gomas, parte de la lignina). Este método mide el contenido de carbohidratos no estructurales presentes en el contenido celular, que son los monosacáridos, disacáridos, trisacáridos y almidones.

Se determina por la diferencia del 100 % y la suma de los porcentajes del extracto etéreo, la fibra cruda, proteína cruda y cenizas.

#### **2.7. Diseño del proceso para elaboración de pastas**

Para diseñar una línea de producción es necesario haber diseñado el producto para determinar las etapas en la elaboración del mismo y las variables con las que se trabajarán para buscar equipos que se adapten y cumplan con las tareas necesarias para convertir la materia prima en el producto deseado. Se procedió con la elaboración inicial del proceso, a escala laboratorio, desde la obtención de materia prima, seguido del secado de semillas en un secador de bandejas y molienda de las mismas en un molino de martillos, para luego ser tamizado. La formulación es clave para la dosificación de los ingredientes. Con el resultado de los análisis bromatológicos, se procedió a preparar la pasta para realizar la evaluación sensorial y así determinar la aceptabilidad del producto final.

Tabla VI. **Contenido nutricional de la semilla de amaranto, cebada y chan (*Salvia hispánica L*), en 100 gramos de semilla**

UNIT		VALUE		
		Amaranto	Cebada	Chan
Water <sup>1 4</sup>	g	11,29	10,09	5,80
Energy	kcal	371	352	486
Energy	kJ	1554	1473	2034
Protein <sup>1 4</sup>	g	13,56	9,91	16,54
Total lipid (fat) <sup>1 2 4</sup>	g	7,02	1,16	30,74
Ash <sup>1 4</sup>	g	2,88	1,11	4,80
Carbohydrate, by difference	g	65,25	77,72	42,12
Fiber, total dietary <sup>1 5</sup>	g	6,7	15,6	34,4
Sugars, total 1	g	1,69	0,80	-
Sucrose 1	g	1,40	-	-
Glucose (dextrose) 1	g	0,27	-	-
Fructose 1	g	0,01	-	-
Lactose 1	g	0,00	-	-
Maltose 1	g	0,01	-	-
Galactose 1	g	0,00	-	-
Starch <sup>1 6</sup>	g	57,27	-	-
<b>MINERALS</b>				
Calcium, Ca 1	Mg	159	29	631
Iron, Fe 1	Mg	7,61	2,5	7,72
Magnesium, Mg 1	Mg	248	79	335
Phosphorus, P 1	Mg	557	221	860
Potassium, K 1	Mg	508	280	407
Sodium, Na 1	Mg	4	9	16
Zinc, Zn 1	Mg	2,87	2,13	4,58
Copper, Cu 1	Mg	0,525	0,42	0,924
Manganese, Mn 1	Mg	3,333	1,322	2,723
Selenium, Se 1	µg	18,7	37,3	55,2

Continuación de la tabla VI.

<b>VITAMINS</b>				
Vitamin C, total ascorbic acid	Mg	4,2	0,0	1,6
Thiamin <sup>1 4</sup>	Mg	0,116	0,191	0,620
Riboflavin <sup>1 4</sup>	Mg	0,200	0,114	0,170
Niacin 1	Mg	0,923	4,604	8,830
Pantothenic acid 1	Mg	1,457	0,282	-
Vitamin B-6 1	Mg	0,591	0,260	-
Folate, total 1	µg	82	23	49
Folic acid	µg	0	0	
Folate, food 1	µg	82	23	49
Folate, DFE	µg	82	23	-
Choline, total 1	Mg	69,8	37,8	-
Betaine 1	Mg	67,6	-	-
Vitamin B-12	µg	0,00	0,00	0
Vitamin B-12, added	µg	0,00	0,00	-
Vitamin A, RAE 1	µg	0	1	-
Retinol	µg	0	0	-
Carotene, beta 1	µg	1	13	-
Carotene, alpha 1	µg	0	0	-
Cryptoxanthin, beta 1	µg	0	0	-
Vitamin A, IU 1	IU	2	22	-
Lycopene 1	µg	0	0	-
Lutein + zeaxanthin 1	µg	28	160	-
Vitamin E (alpha-tocopherol) <sup>1 2 3</sup>	Mg	1,19	0,02	0,5
Tocopherol, beta <sup>1 2 3</sup>	Mg	0,96	-	-
Tocopherol, gamma <sup>1 2 3</sup>	Mg	0,19	-	-
Tocopherol, delta <sup>1 2 3</sup>	Mg	0,69	-	-
Vitamin D (D2 + D3)	µg	0,0	0,0	-
Vitamin D	IU	0	0	-
Vitamin K (phylloquinone) 1	µg	0,0	2,2	-

Continuación de la tabla VI.

<b>AMINO ACIDS</b>				
Tryptophan	G	0,181	0,165	0,436
Threonine	G	0,558	0,337	0,709
Isoleucine	G	0,582	0,362	0,801
Leucine	G	0,879	0,673	1,371
Lysine	G	0,747	0,369	0,970
Methionine	G	0,226	0,190	0,588
Cystine	G	0,191	0,219	0,407
Phenylalanine	G	0,542	0,556	1,016
Tyrosine	G	0,329	0,284	0,563
Valine	G	0,679	0,486	0,950
Arginine	g	1,060	0,496	2,143
Histidine	g	0,389	0,223	0,531
Alanine	g	0,799	0,386	1,044
Aspartic acid	g	1,261	0,619	1,689
Glutamic acid	g	2,259	2,588	3,500
Glycine	g	1,636	0,359	0,943
Proline	g	0,698	1,178	0,776
Serine	g	1,148	0,418	1,049

Fuente: elaboración propia.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

A continuación, se detalla la metodología a utilizar para la formulación y análisis de las mezclas de harina de semillas de cebada, amaranto y chan. Con base en la investigación teórica realizada, se determinaron los factores que influyen en el análisis químico nutricional y sensorial de la mezcla de harina de las semillas para obtener pasta. Por ende, se determinaron las variables tanto dependientes como independientes y los factores que son controlables y no controlables dentro de la experimentación.

Tabla VII. **Variables experimentales a medir**

Variables	Unidades	Variables		Factores perturbadores	
		Independientes	Dependientes	Control	de ruido
Cantidad de harina de semilla de amaranto	G	X		X	
Cantidad de harina de semilla de cebada	G	X		X	
Cantidad de harina de semilla de chan	G	X		X	
Cantidad de agua y aceite	MI	X		X	
Cantidad de aglutinante	Entero			X	
Temperatura	°C	X		X	
<b>Prueba hedónica</b>					
Sabor			X		X
Color			X		X
Olor			X		X
<b>Prueba bromatológica</b>					
Cantidad de proteína presente en la mezcla	%		X		X
Cantidad de extracto etéreo	%		X		X
Cantidad de fibra cruda alimentaria presente en la mezcla	%		X		X
Materia seca total	%		X		X
Cantidad de cenizas	%		X		X
Cantidad de extracto libre de nitrógeno	%		X		X

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación de campo de estudio**

La formulación por complementación de la mezcla de harina de semilla de cebada, amaranto y chan, en distintas proporciones, fue analizada en el Laboratorio de Bromatología del Centro de Investigaciones de Alimentos en la Facultad de Veterinaria del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El análisis sensorial se realizó con personas dentro del perímetro de la ciudad de Guatemala.

- Área: alimenticia.
- Industria: alimentos.
- Proceso: Desarrollo de la formulación de una harina de cebada (*hordeum vulgare*), amaranto (*amaranthus cruentus*) y chan (*Salvia hispánica L*), evaluación nutricional y diagrama de proceso de producción para la elaboración de pasta.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Se cuenta con el apoyo de:

- Andrea Isabel Velásquez Zapeta Investigador, estudiante de Ingeniería Química.
- Inga. Qca. Hilda Piedad Palma Ramos, Asesora.
- Ing. Qco. Víctor Manuel Monzón Valdez, Revisor.



### **3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)**

El presente proyecto de investigación hará uso de las siguientes materias primas; reactivas, cristalería y equipos; con el propósito de cumplir con los objetivos planteados:

- Materia prima
  - Harina de semilla de amaranto
  - Harina de semilla de chan
  - Harina de semilla de cebada
  - Agua
  - Huevo
  - Sal
  - Aceite
  
- Cristalería
  - Beaker
  - Crisol
  - Tubo de ensayo
  
- Reactivos
  - Agua destilada
  - Hidróxido de sodio
  - Sulfato de sodio
  - Ácido sulfúrico
  - Ácido clorhídrico
  - Alcohol etílico

- Equipos
  - Balanza analítica
  - Tamiz de 35 mesh
  - Horno de secado
  - Aparato Ankom para determinar la fibra
  - Aparato de Velp para determinación de grasas
  - Aparato de Kjeldahl para determinar el contenido de nitrógeno
  - Mufla.
  - Tamiz #35
  - Mechero
  - Amasador
  - Máquina de pasta
  - Olla
  - Plancha

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

Inicialmente se formulan las cinco mezclas de harina de las tres semillas a utilizar. Por medio de la técnica de complementación se obtienen dichas mezclas de harinas en diferentes proporciones a las que se les realizará un análisis proximal, para obtener el valor nutritivo del producto. Posteriormente se hará un análisis sensorial para determinar la aceptación o rechazo de la pasta.

Tabla VIII. **Formulación de harina para elaborar pasta**

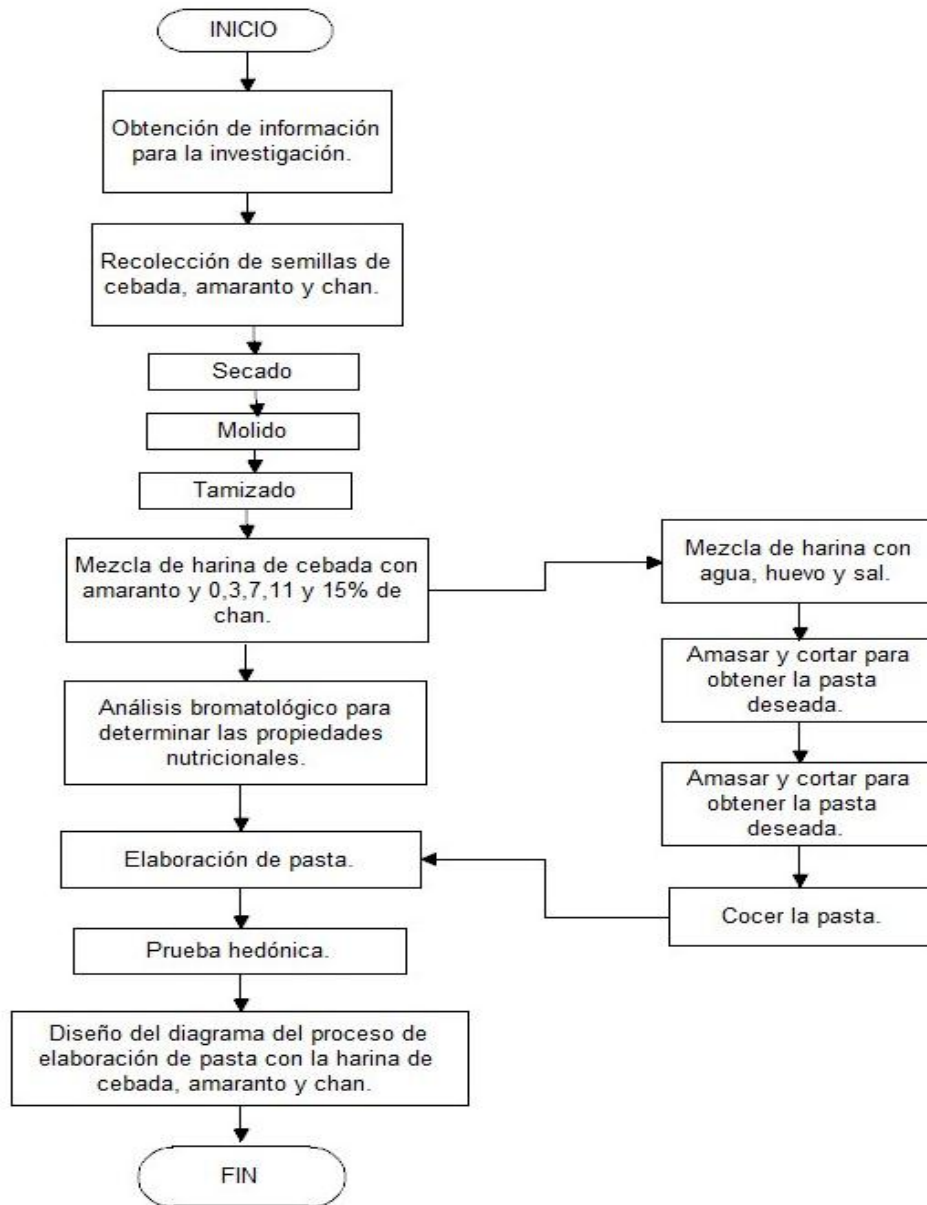
Mezcla	1	2	3	4	5
<b>%amaranto</b>	50	48,5	46,5	45	42,5
<b>%cebada</b>	50	48,5	46,5	45	42,5
<b>%chan</b>	0	3	7	10	15
<b>TOTAL (grs)</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3.5.1. Procedimiento y diseño general**

Para la elaboración de la pasta se inició con la mezcla en diferentes proporciones de harina de cebada, amaranto y chan y así llegar a la consistencia deseada para la masa con el fin de obtener una pasta.

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso



Fuente: elaboración propia.

### **3.5.2. Obtención de materia prima**

La materia prima fue obtenida en semilla. Ésta fue secada, molida y tamizada para obtener harina. Esto disminuye el riesgo de contaminación y facilita la molienda.

### **3.5.3. Formulación y preparación de la mezcla**

La preparación de la harina para pasta fue mezclada manualmente con las cantidades mostradas en la tabla VIII. Las mezclas mencionadas fueron sometidas a análisis de propiedades nutricionales.

### **3.5.4. Propiedades nutricionales de las mezclas**

Las cinco mezclas fueron llevadas a la Facultad de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el fin de que se analizaran las propiedades nutricionales de las mismas para determinar la cantidad de fibra cruda, proteínas, carbohidratos, etc.

### **3.5.5. Elaboración de pasta**

Para la elaboración de pasta se le añadió sal y huevo. Por cada 100 gramos de harina, se añadió un huevo y una pizca de sal. Si la consistencia aún era seca, se añadía una clara de huevo para llegar al punto deseado.

Posteriormente la masa fue pasada por la máquina de pasta para ser extendida y ser cortada en tiras al estilo fettuccini.

Luego se coció la pasta con agua y sal al dente.

### **3.5.6. Pruebas sensoriales**

Las diferentes mezclas con las diferentes proporciones de harina de amaranto, cebada y chan fueron sometidas a una evaluación sensorial mediante una escala hedónica de nueve puntos; una muestra de 30 personas fue sometida a una encuesta para conocer su opinión respecto a las propiedades organolépticas y presentación de la pasta hecha con tres mezclas de harina con porcentajes de 0, 7 y 15 de chan. Se tomaron éstas tres muestras para evaluar un rango más amplio y significativo en las cantidades añadidas de chan a las mezclas y analizar las respuestas de aceptabilidad sensorial del producto con estas diferencias.

Se evalúa por medio de panelistas que prueban cada una de las muestras, dando un valor para el olor, sabor, color. La boleta a utilizar para evaluar las pastas es la siguiente:

Tabla IX. **Boleta para prueba hedónica**

Nombre y edad:		F			
		echa:			
Estudio de aceptabilidad hacia alimento tipo pasta a base de harina de cebada, amaranto y chan.					
INSTRUCCIONES: Observe y pruebe cada una de las muestras. Indique el grado en el que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra, colocando la abreviación en cada casilla.					
		Muestra			
Abreviación	Categoría	COLOR	OLOR	SABOR	OBSERVACIONES
MDE	Me disgusta extremadamente				
MDMU	Me disgusta mucho				
MDM	Me disgusta moderadamente				
MDL	Me disgusta levemente				
NMNMD	No me gusta ni me disgusta				
MGL	Me gusta levemente				
MGM	Me gusta moderadamente				
MGM	Me gusta mucho				
MGE	Me gusta extremadamente				

Fuente: VALLS, Josep, *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. p. 58.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

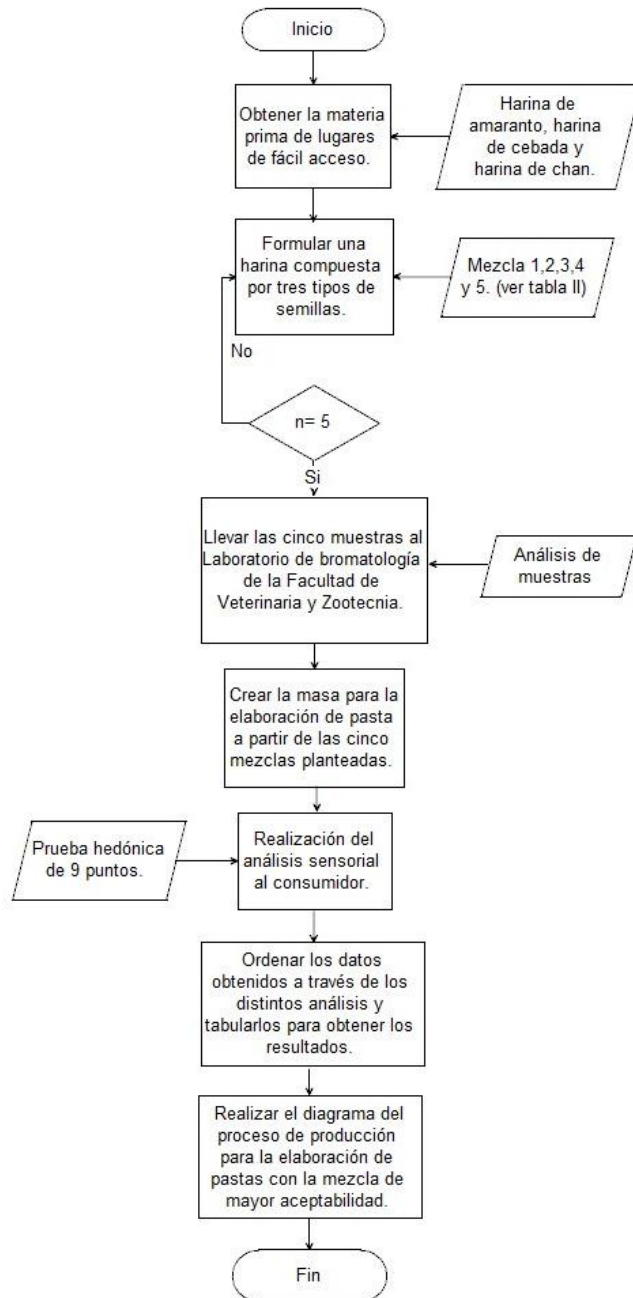
Al conocer los datos nutricionales de las semillas que se utilizarán, se realizó la formulación, con el fin de obtener un alimento mejorado y de buena aceptación.

El estudio consistió en una evaluación nutricional de las harinas formuladas al añadir de 0 a 15 % harina de la semilla de chan como lo muestra la tabla VIII. Para ello se hizo un análisis bromatológico para luego elegir tres mezclas a las que se les hizo análisis sensorial.

Para recolectar la información es necesario seguir una serie de pasos que se detalla a través del siguiente diagrama de flujo.



Figura 6. Diagrama de flujo para la recolección y ordenamiento de información



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

La información cuantitativa obtenida por el análisis proximal se obtendrá en un formato como el siguiente:

Tabla X. **Perfil bromatológico para la proporción de sólidos en las cinco formulaciones**

<b>Descripción de la Muestra</b>	<b>Base</b>	<b>Agua %</b>	<b>M.S. %</b>	<b>E.E. %</b>	<b>F.C. %</b>	<b>P.C %</b>	<b>Cenizas %</b>	<b>E.L.N. %</b>
Proteína cruda (P.C), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC) y extracto libre de nitrógeno (ELN), masa seca (MS)								

Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

A través de la tabulación de datos obtenidos de las pruebas bromatológicas y sensoriales se obtuvieron los resultados que permitieron realizar las gráficas y las respuestas a las hipótesis planteadas. Se inició con la pulverización de las semillas tostadas y el tamizado de las mismas para que, posteriormente se realizaran las pruebas nutricionales y la masa de pasta.

Tabla XI. **Tabulación de los resultados obtenidos de las pruebas sensoriales realizadas a la pasta por los consumidores**

Panelistas	Color			olor			Sabor		
	M1	M3	M5	M1	M3	M5	M1	M3	M5
1									
2									
3									
4									
5									
promedio									
total									
DE									

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Tabulación de los resultados obtenidos de las pruebas bromatológicas de la harina de semillas crudas y tostadas**

%	0%		7%		15%	
	Crudo	Tostado	Crudo	Tostado	Crudo	Tostado
<b>Agua</b>						
<b>M.S.T</b>						
<b>E.E.</b>						
<b>Fibra cruda</b>						
<b>Proteína cruda</b>						
<b>Cenizas</b>						
<b>E.L.N.</b>						

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

Debido a que los resultados deben ser precisos se trató de disminuir los posibles errores, utilizando un número de corridas adecuado. Para conseguir lo anterior se utilizó un nivel de confianza del 95 por ciento y se espera un error en los resultados del 20 por ciento.

- Tamaño de muestra y repeticiones

$$n = \frac{z^2 pq}{e^2}$$

[Ecuación 1, ref. 2]

Donde:

- z: confiabilidad
- p: probabilidad de éxito
- q: probabilidad de fracaso (1 – p)
- e: error estimado
- n: número de repeticiones

Determinando el número de repeticiones

$$n = \frac{(1,95)^2(0,95)(0,05)}{(0,2)^2} = 5 \text{ repeticiones en la elaboración de pasta}$$

- Promedio

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

[Ecuación 2, ref. 2]

- Desviación Estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

[Ecuación 3, ref. 2]

- Número de repeticiones

$$\bar{N} = \frac{(1,95)^2(0,95)(0,05)}{(0,2)^2} = 5 \text{ repeticiones}$$

[Ecuación 4, ref. 2]

### 3.9. Análisis de varianza

El análisis ANOVA es utilizado para verificar si se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre medias, esto cuando se tienen más de dos muestras o grupos en el mismo planteamiento. Cuando se tienen más de dos muestras y se comparan las medias de dos en dos, las probabilidades de error suben al momento de rechazar la hipótesis de no diferencia, debido a que queda suficiente explicada por factores aleatorios llamado error muestral.

Por medio de análisis de varianza se comprueba la existencia de diferencias entre más de dos grupos en el mismo planteamiento y también para contrastar la hipótesis nula de que las medias de distintas poblaciones coinciden.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

Ha: no todas las medias poblacionales son iguales

Dos grupos son distintos cuando la variabilidad entre los grupos, entre sus medias, es mayor que la variabilidad dentro de los grupos. Para realizar el contraste ANOVA, se requieren  $k$  muestras independientes de la variable de interés. A la variable categórica (nominal u ordinal), que define los grupos que deseamos comparar la llamamos independiente o factor. A la variable cuantitativa (de intervalo o razón), en la que deseamos comparar los grupos la llamamos dependiente.

La interpretación se da por medio de la significación y el valor  $F$ . La estrategia para validar la hipótesis de igualdad de medias consiste en obtener el estadístico  $F$ , que refleja el grado de similitud entre las medias que se están evaluando.

La significación de  $F$  también se interpretará como la probabilidad de que este valor de  $F$  se deba al azar. Se debe seguir un nivel de confianza en porcentaje. Generalmente se toma un 95%.

Para analizar Anova de un factor se deben tener en cuenta los siguientes argumentos:

- Significación: si es menor de 0,05 es que las dos variables están relacionadas y por tanto que hay diferencias significativas entre los grupos.
- Valor de  $F$ : cuanto más alto sea  $F$ , más están relacionadas las variables, lo que significa que las medias de la variable dependiente difieren o varían mucho entre los grupos de la variable independiente.

La varianza se encuentra denotada como:

$$\sigma = \frac{\sum(X - M)^2}{N - 1}$$

[Ecuación 5, ref. 2]

Para realizar el análisis ANOVA se necesitan los siguientes datos: suma de cuadrados, medias cuadráticas, los grados de libertad y el valor crítico F. Posteriormente se elabora una tabla para reunir la información del análisis de varianza o ANOVA.

Se calculan de la siguiente manera:

Tabla XIII. **Análisis de varianza**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F
Entre grupos	<b>SCT</b>	$k - 1$	$f = \frac{SCT}{k - 1}$	$F = \frac{f}{E}$
Dentro de los grupos	<b>SCE</b>	$n_T - k$	$E = \frac{SCE}{n_T - k}$	
Total	<b>SCTotal</b>	$n_T - 1$		

Fuente: GONZÁLES, Yólotl. *Animales y plantas en la cosmovisión mesoamericana*. p. 18.

Donde:

- Grados de libertad

Indica el número de elementos independientes en la suma de cuadrados.

$$GL = k - 1 \text{ (Entre grupos)}$$

$$GL = nT - k \text{ (Dentro de los grupos - Error)}$$

$$GL = nT - 1 \text{ (Total)}$$

[Ecuación 6, ref. 2]

Donde:

$nT$  = número total de datos

$k$  = número total de tratamientos o filas

- Suma de cuadrados

La suma de cuadrados, SC, representa una medida de variación o desviación con respecto a la media. Entre ellas están:

La SC Total es la variación total en los datos. Es la diferencia de los sujetos con respecto a la media total.

$$SC \text{ total} = \sum y_i^2 - \frac{y^2}{n}$$

[Ecuación 7, ref 2]

Donde:

- Suma de cuadrados tratamiento



El SC Tratamiento es la desviación de la media del nivel de factor estimado alrededor de la media general.

$$SCT = \sum \frac{yc^2}{nc} - \frac{y^2}{n}$$

[Ecuación 8, ref 2]

El SC Error es la desviación de una observación desde su media de nivel de factor correspondiente.

$$SCE = SC \text{ total} - SCT$$

[Ecuación 9, ref 2]

Donde:

- $y_i$ : respuestas individuales
- $y$ : número total de tratamientos
- $n$ : número total de respuestas
- $yc$ : total de la columna de cada tratamiento
- $nc$ : número de respuestas de cada tratamiento

Se utilizó ANOVA de un factor para analizar los datos obtenidos de las pruebas nutricionales y la prueba hedónica con el fin de verificar si hay diferencias estadísticamente significativas entre medias.

Para comprobar la hipótesis, se utiliza Microsoft Excel, la opción análisis de datos para el análisis de varianza de un factor. Se obtienen los resultados

para determinar si existe diferencia significativa entre los valores nutricionales de las mezclas:

Para la primer hipótesis se presentan los siguientes resultados:

Tabla XIV. **Resumen de los datos utilizados para el análisis de varianza entre las cinco mezclas de harina de cebada, amaranto y chan**

Descripción					Alpha	0,05		
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	SS	Std Err	Lower	Upper
M1	7	200	28,5714	1428,649	8571,895	13,553	0,8924	56,2504
M2	7	200	28,5714	1244,868	7469,206	13,553	0,8924	56,2504
M3	7	200,01	28,5729	1391,025	8346,152	13,553	0,8939	56,2518
M4	7	200,01	28,5729	1256,733	7540,395	13,553	0,8939	56,2518
M5	7	200	28,5714	1107,69	6646,143	13,553	0,8924	56,2504

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 5 a 9 de la tabla XIII Anova.

Tabla XV. **Análisis de varianza de las cinco mezclas propuestas con diferente proporción de ingredientes**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	0	4	0	3,3E-09	1	2,6896	2,18E-05	-0,129032
Within Groups	38573,79	30	1285,793					
Total	38573,791	34	1134,523					

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 5 a 9 de la tabla XIII Anova.

Con el análisis estadístico y el nivel de significancia de 0,05, se acepta la hipótesis nula al no encontrarse diferencia significativa en los nutrientes que aporta la mezcla de harina de cebada y amaranto al adicionar diferentes cantidades de chan (*Salvia hispánica L.*).

La segunda hipótesis menciona que, conforme aumenta la proporción de chan (*Salvia hispánica L*), en la mezcla de harina formulada disminuye la aceptabilidad sensorial del producto. El análisis de varianza es el siguiente:

**Tabla XVI. Resumen de los datos utilizados para el análisis de varianza de la prueba hedónica entre las tres mezclas, 0 %, 7 % y 15 %**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	SS	Std Err	Lower	Upper
m1	30	205,33	6,84	1,33128991	38,6074074	0,21296824	6,42114701	7,26774188
m3	30	209,67	6,99	1,13014049	32,7740741	0,21296824	6,56559146	7,41218632
m5	30	179,67	5,99	1,62056194	46,9962963	0,21296824	5,56559146	6,41218632

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 5 a 9 de la tabla XIII Anova.

**Tabla XVII. Análisis de varianza para el análisis sensorial de las pastas de las mezclas 1,3 y 5 con 0 %, 7 % y 15 % de harina de chan**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crit	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	17,5283951	2	8,76419753	6,44111758	0,00246234	3,10129576	0,46336154	0,10787068
Within Groups	118,377778	87	1,36066411					
Total	135,906173	89	1,52703565					

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 5 a 9 de la tabla XIII Anova.

### 3.10. Prueba de Tukey

Como se ha comprobado la diferencia significativa de los tratamientos después de aplicar el análisis de varianza, se sabe entonces que al menos uno de los promedios es diferente a los otros obtenidos. Para identificar cuál o cuáles de los promedios son diferentes se aplican pruebas de comparaciones

múltiples o contrastes ortogonales, porque, los tratamientos que se comparan son cualitativos.

Con los datos obtenidos en el análisis de varianza se realiza la prueba de Tukey, tomando en cuenta que los tratamientos tienen el mismo número de repeticiones (balanceado), se obtiene la diferencia honestamente significativa o comparador de Tukey que es el mismo para todos los pares que se comparan. Se hace uso de la tabla de cuantiles de la distribución de Tukey de la referencia 13 para la obtención del comparador, w.

$$w = qa \times \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

[Ecuación 10, ref 13]

q 0,05	CME	N	w
15,82	Suma de cuadrados 118,377	GL 87	30
	1,361		3,37

Tabla XVIII. **Prueba de Tukey para las tres muestras de pasta evaluadas**

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha	0.05	
Grupos	Media	N	Ss	df	q-crit
m1	6,84	30	38,607		
m3	6,99	30	32,774		
m5	5,99	30	46,996		
		90	118,378	87	3,37193103

Q TEST									
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	Lower	upper	p-value	x-crit	Cohen d
m1	m3	0,1444	0,2130	0,6782	-0,5737	0,8626	0,8811	0,7181	0,1238
m1	m5	0,8556	0,2130	4,0173	0,1374	1,5737	0,0153	0,7181	0,7335
m3	m5	1	0,2130	4,6955	0,2819	1,7181	0,0037	0,7181	0,8573

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 10 de la tabla XIII.

Tabla XIX. **Matriz de diferencias entre los pares de medias de la prueba hedónica de las muestras de pasta analizadas**

	M1	M3	M5
M1		0,6782	4,0173
M3			4,6955
M5			

Fuente: elaboración propia.

Con el análisis realizado se determina si la diferencia de medias es mayor que el comparador; se concluye que los promedios no son iguales, en caso contrario, se concluye que sí son iguales.

Tabla XX. **Pares de promedio comparados para determinar si son iguales o no**

Pares comparados	Diferencia de promedio	Comparador	Conclusión
M1 contra M3	0,6782	3,37	Igual
M1 contra M5	4,0173		No son iguales
M3 contra M5	4,6955		No son iguales

Fuente: elaboración propia.

- **Conclusión**

Las diferencias que exceden al comparador están entre las medias de M1 y M5, M3 y M5. Conforme aumenta la proporción de chan (*Salvia hispánica L*), en la mezcla de harina formulada disminuye la aceptabilidad sensorial del producto, ya que, la muestra M5 con 15% de chan, evidencia ser la menos aceptada de las tres muestras, seguida por la muestra 1 y por último la muestra 3, siendo la más aceptada de las tres.

La tercer hipótesis planteada menciona que las propiedades nutricionales de la mezcla de semillas molidas sin deshidratar son mayores a la mezcla de harina con semilla deshidratada.

Tabla XXI. **Análisis de varianza de la mezcla de pasta realizada con semilla cruda y tostada con 0 % de harina de semilla de chan**

DESCRIPCION					Alpha	0.05		
Groups	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err	Lower	Upper
CRUDO	7	200,01	28,573	1492,74	8956,472	14,445	-2,901	60,047
TOSTADO	7	200	28,571	1428,64	8571,895	14,445	-2,903	60,045
ANOVA								
Sources	SS	df	MS	F	P value	F crit	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	7,1429E-06	1	7,1429E-06	4,89E-09	0,999945	4,747225	2,6431E-05	-
Within Groups	17528,3674	12	1460,6972					
Total	17528,3674	13	1348,3359					

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 5 a 9 de la tabla XIII Anova.

Tabla XXII. **Prueba de Tukey para muestra de pasta con 0 % de chan**

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha	0.05	
Groups	Mean	N	Ss	df	q-crit
CRUDO	28,57	7	8 956,47		
TOSTADO	28,57	7	8 571,90		
		14	17 528,37	12	3,081

Q TEST									
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	Lower	Upper	p-value	x-crit	Cohen d
CRUDO	TOSTADO	0,001428	14,44545	0,0001	-44,505	44,5079	0,9999	44,5064	0,0000

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 10 de la tabla XIII.

Tabla XXIII. **Análisis de varianza de la mezcla de pasta realizada con semilla cruda y tostada con 7 % de harina de semilla de chan**

DESCRIPCION					Alpha	0.05		
Groups	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err	Lower	Upper
CRUDO	7	200,01	28,5729	1296,0554	7 776,3325	13,8540	-1,6125	58,7582
TOSTADO	7	200,01	28,5729	1391,0254	8 346,1521	13,8540	-1,6125	58,7582
ANOVA								
Sources	SS	Df	MS	F	P value	F crit	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	0	1	0	0	1	4,74722535	0	-0,07692308
Within Groups	16 122,4847	12	1 343,54039					
Total	16 122,4847	13	1 240,19113					

Fuente: elaboración propia, con base en la ecuación 5 a 9. Tabla XIII Anova.

Tabla XXIV. **Prueba de Tukey para muestra de pasta con 7% de chan**

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha	0.05	
Groups	Mean	N	Ss	df	q-crit
CRUDO	28,573	7	7 776,333		
TOSTADO	28,573	7	8 346,152		
		14	16 122,485	12	3,081

Q TEST									
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	x-crit	Cohen d
CRUDO	TOSTADO	0	13,8540	0,0000	-42,6843	42,6843	1,0000	42,6843	0,0000

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 10 de la tabla XIII.



Tabla XXV. **Análisis de varianza de la mezcla de pasta realizada con semilla cruda y tostada con 15 % de harina de semilla de chan**

DESCRIPCION					Alpha	0.05		
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Mean</i>	<i>Variance</i>	<i>SS</i>	<i>Std Err</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
CRUDO	7	200	28,571	1194,333	7165,998	12,823	0,632	56,510
TOSTADO	7	200	28,571	1107,690	6646,143	12,823	0,632	56,510

ANOVA								
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>F crit</i>	<i>RMSS E</i>	<i>Omega Sq</i>
Between Groups	0	1	0	0	1	4,74723	0	-0,07692
Within Groups	13812,1408	12	1151,01173					
Total	13812,1408	13	1062,47237					

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 5 a 9 de la tabla XIII Anova.

Tabla XXVI. **Prueba de Tukey para muestra de pasta con 15 % de chan**

TUKEY HSD/KRAMER			alpha	0.05	
<i>Groups</i>	<i>Mean</i>	<i>N</i>	<i>ss</i>	<i>df</i>	<i>q-crit</i>
CRUDO	28,57143	7	7166,00		
TOSTADO	28,57143	7	6646,14		
		14	13812,14	12	3,081

Q TEST									
<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>x-crit</i>	<i>Cohen d</i>
CRUDO	TOSTADO	0	12,82	0,0000	-39,51	39,51	1,00	39,51	0,0000

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 10 de la tabla XIII.

Tabla XXVII. **Pares de promedio comparados para determinar si son iguales o no**

Pares comparados	Diferencia de promedio	Comparador	Conclusión
M1 semilla cruda contra seca	0,0001	3,081	Son iguales
M3 semilla cruda contra seca	0		Son iguales
M5 semilla cruda contra seca	0		Son iguales

Fuente: elaboración propia.

Conclusión: Con el análisis realizado y la prueba de Tukey, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, al no encontrarse diferencia significativa entre las muestras de pasta realizadas con harina de semillas secas y crudas con cada porcentaje agregado de chan.

### 3.11. Plan de análisis de los resultados

El plan de análisis de resultados consistió en la presentación técnica de los resultados obtenidos de los análisis sensoriales y nutricionales, del diseño del proceso y tabulaciones de datos realizado, utilizando programas como Microsoft Excel 2010 y diagram designer.

### 3.11.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Tabla XXVIII. Métodos de referencia para el análisis proximal

Análisis	Método de referencia	Unidades	Rango
<b>Materia seca</b>	AOAC: 930.15	%	85 a 100
<b>Materia seca</b>	Bateman 6.111	%	1 a 85
<b>Materia seca</b>	AOAC: 925.04	%	10 a 85
<b>Proteína cruda</b>	AOAC: 976.05 Tecator: Manual del kjeltec Auto 1030 Analyzer	%	1 a 300
<b>Fibra cruda</b>	Tecator: Manual del 1010/1021 Fibertec System I AOAC: 962.09 Bateman	%	1 a 60
<b>Fibra ácido detergente</b>	Tecator; Manual del 1010/ 1021 Fibertexc System I	%	0 a 60
<b>Fibra neutro detergente</b>	Tecator Manual del 101061021 Fibertec System I	%	0 a 90
<b>Extracto etéreo</b>	Bateman 9.110	%	0 a 100
<b>Cenizas</b>	AOAC: 942.05	%	0 a 100
<b>Extracto libre de nitrógeno</b>	Bateman: 10.200	%	0 a 100

Fuente: Laboratorio Bromatológico, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### 3.11.2. Programas a utilizar para análisis de datos

Se utilizará el software Microsoft Visio 2010 y Diagram designer, para desarrollar el diagrama del procedimiento para la elaboración de pastas a partir de la harina de semillas de cebada, amaranto y chan con el fin de presentar las actividades involucradas en la elaboración del producto.

Microsoft Word 2010 será elemental para la elaboración de la investigación. Otro programa a utilizar será Microsoft Excel 2010, que facilita el cálculo y la elaboración de gráficos de una forma más eficiente.



## 4. RESULTADOS

Con los análisis realizados, se presentan los resultados obtenidos del análisis nutricional y de la evaluación descriptiva realizada a las distintas mezclas de harina de cebada, amaranto y chan.

- Determinar el valor nutricional de cinco mezclas de harina de cebada y amaranto al adicionar semillas de chan en las distintas proporciones por medio de un análisis proximal de humedad, energía, proteína, grasas, carbohidratos, cenizas, y fibra cruda.

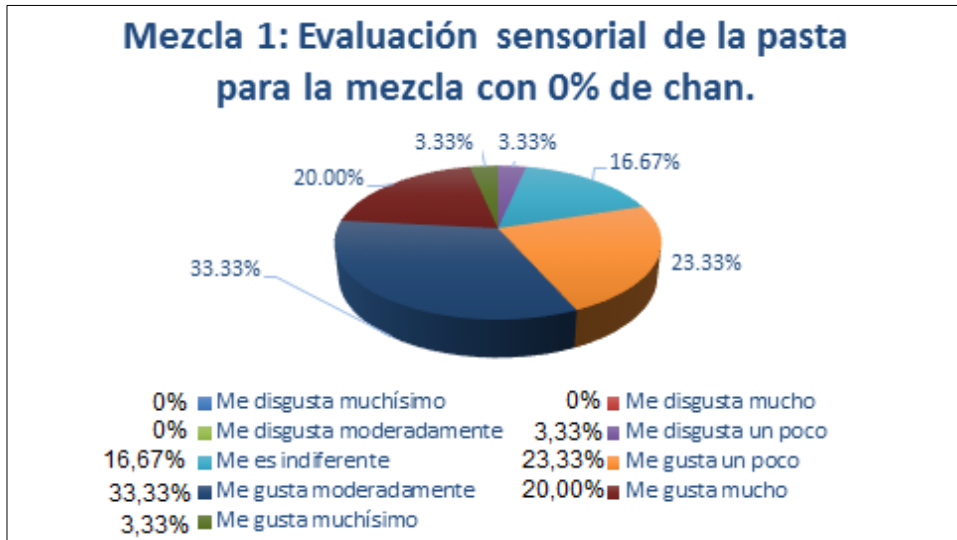
Tabla XXIX. **Composición química y nutricional de las mezclas de pasta enriquecidas con 0,3,7,10 y 15 % de semilla de chan**

Propiedad (por ciento)	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
<b>AGUA</b>	7,65	9,17	6,61	8,92	7,45
<b>M.S.T</b>	92,35	90,83	93,39	91,08	92,55
<b>E.E.</b>	4,64	6,29	6,53	7,52	9,08
<b>FIBRA CRUDA</b>	2,88	7,36	4,06	5,29	14,67
<b>PROTEINA CRUDA</b>	16,8	17,19	16,61	17,74	17,73
<b>CENIZAS</b>	2,32	2,42	2,42	2,57	2,66
<b>E.L.N.</b>	73,36	66,74	70,39	66,89	55,86

Fuente: Análisis realizado por el Laboratorio de Bromatología, Escuela de Zootecnia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

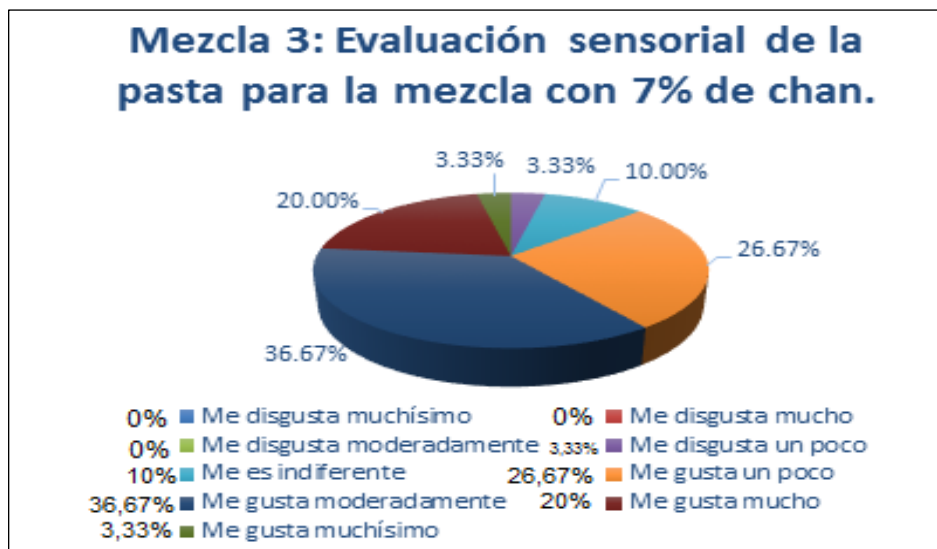
- Realizar una evaluación organoléptica de la pasta hecha de las tres mezclas de harina de cebada y amaranto, enriquecida con harina de semilla de chan, que presenten el mejor valor nutricional con base a una escala hedónica de nueve puntos.

Figura 7. Evaluación sensorial de la pasta con la mezcla 1



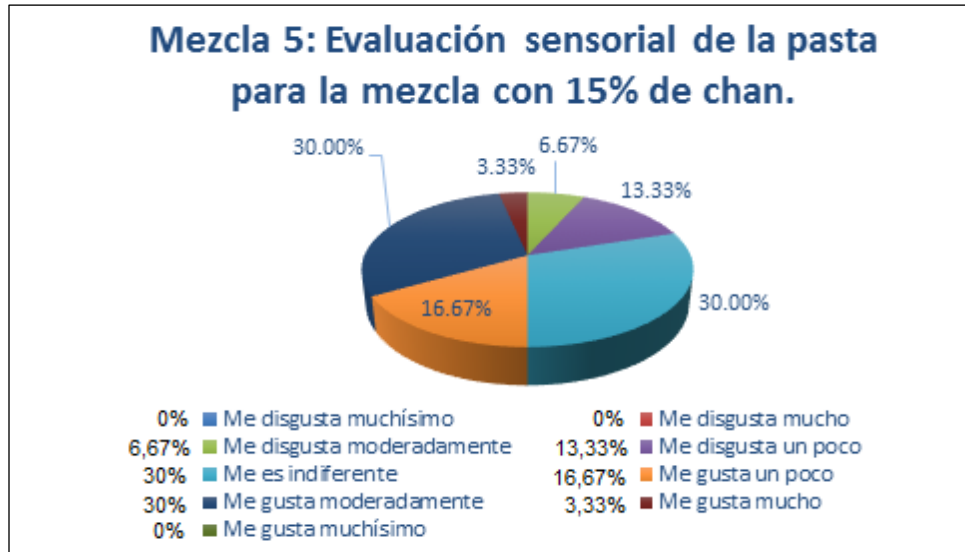
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Evaluación sensorial de la pasta con la mezcla 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Evaluación sensorial de la pasta con la mezcla 5



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan las propiedades nutricionales de la mezcla de semillas molidas crudas y la diferencia con las propiedades de las semillas tostadas/deshidratadas.

Se comprueba, por medio del análisis estadístico, que las mezclas de semillas crudas y deshidratadas/tostadas no presentan diferencia significativa en los resultados en las propiedades nutricionales.

Tabla XXX. **Composición química y nutricional de las mezclas con semilla cruda y tostada**

Propiedad (por ciento)	Mezcla 1: 0 %		Mezcla 3:7 %		Mezcla 5: 15 %	
	CRUDO	TOSTADO	CRUDO	TOSTADO	CRUDO	TOSTADO
<b>AGUA</b>	5,42	7,65	6,38	6,61	8,08	7,45
<b>M.S.T</b>	94,58	92,35	93,62	93,39	91,92	92,55
<b>E.E.</b>	4,6	4,64	6,4	6,53	9,09	9,08
<b>FIBRA CRUDA</b>	3,02	2,88	8,72	4,06	7,56	14,67
<b>PROTEINA CRUDA</b>	16,71	16,8	17,05	16,61	18,37	17,73
<b>CENIZAS</b>	2,32	2,32	2,48	2,42	2,68	2,66
<b>E.L.N.</b>	73,36	73,36	65,36	70,39	62,3	55,86

Fuente: Análisis realizado por el Laboratorio de Bromatología, Escuela de Zootecnia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

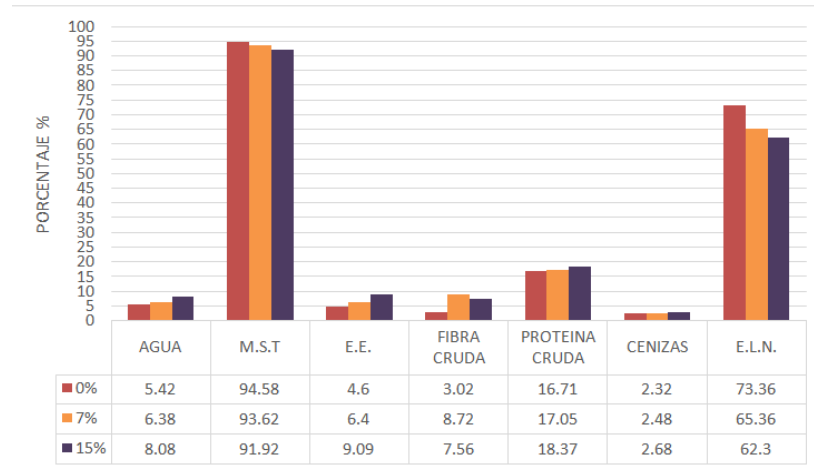
Tabla XXXI. **Prueba de Tukey para determinar si existe diferencia entre las muestras de pasta realizadas con semilla cruda y seca añadiendo 0, 7 y 15 % de semilla de chan**

Pares comparados	Diferencia de promedio	Comparador	Conclusión	
M1 semilla cruda contra seca	0,0001	3,081	Son iguales	A
M3 semilla cruda contra seca	0		Son iguales	A
M5 semilla cruda contra seca	0		Son iguales	A

Fuente: elaboración propia.

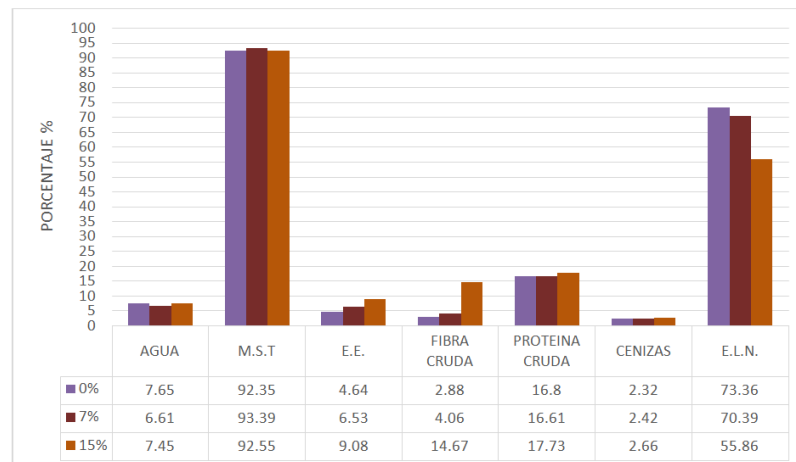


Figura 10. **Análisis bromatológico de las mezclas con semilla cruda**



Fuente: elaboración propia.

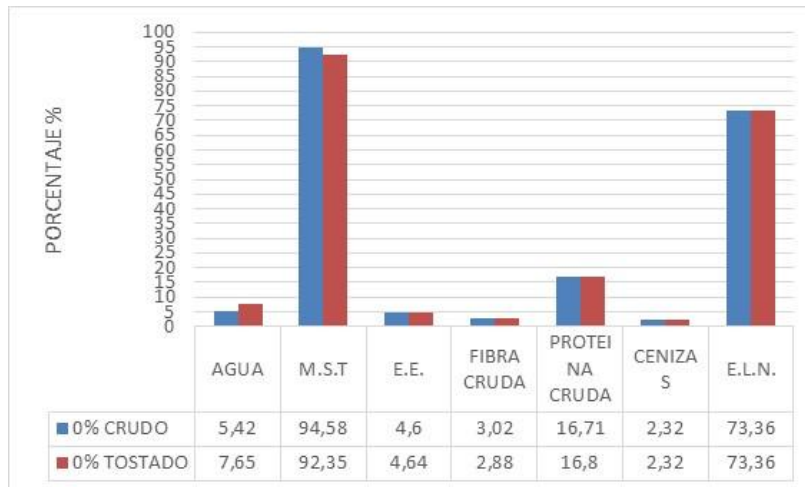
Figura 11. **Análisis bromatológico de las mezclas con semilla seca**



Fuente: elaboración en propia.

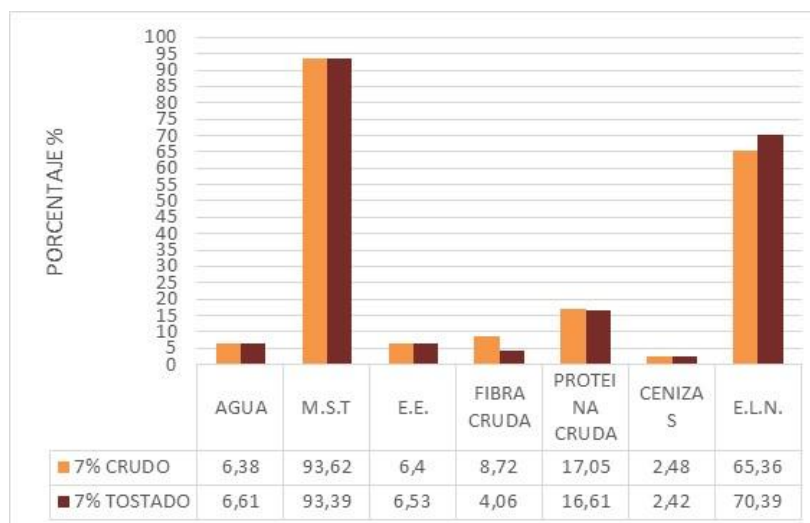
Se presenta la comparación gráfica de las distintas mezclas con semillas crudas y tostadas para determinar la diferencia entre ambas.

Figura 12. **Comparación del análisis bromatológico de la mezcla 1 con harina de semilla cruda y tostada**



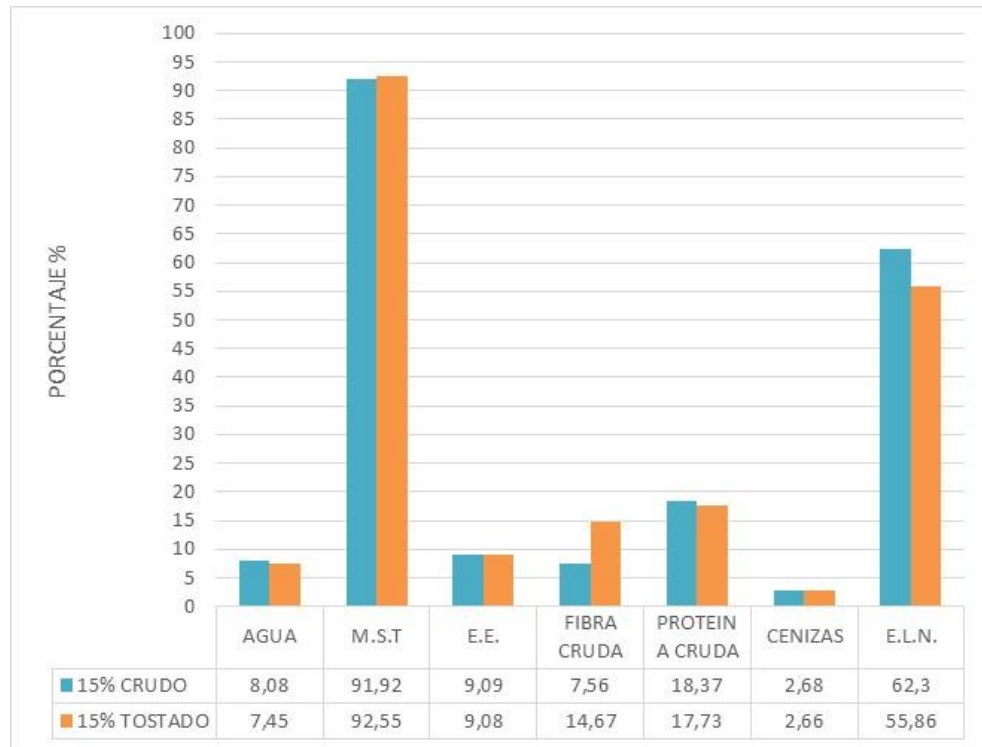
Fuente: elaboración en propia.

Figura 13. **Comparación del análisis bromatológico de la mezcla 3 con harina de semilla cruda y tostada**



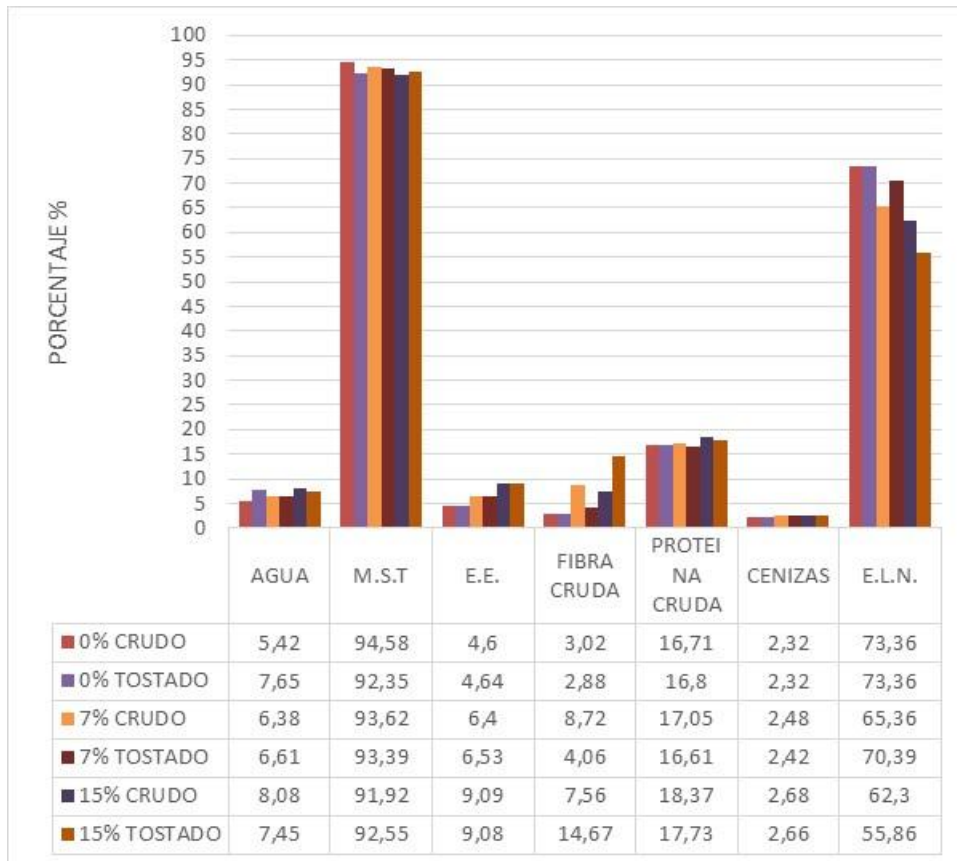
Fuente: elaboración en propia.

Figura 14. **Comparación del análisis bromatológico de la mezcla 5 con harina de semilla cruda y tostada**



Fuente: elaboración en propia.

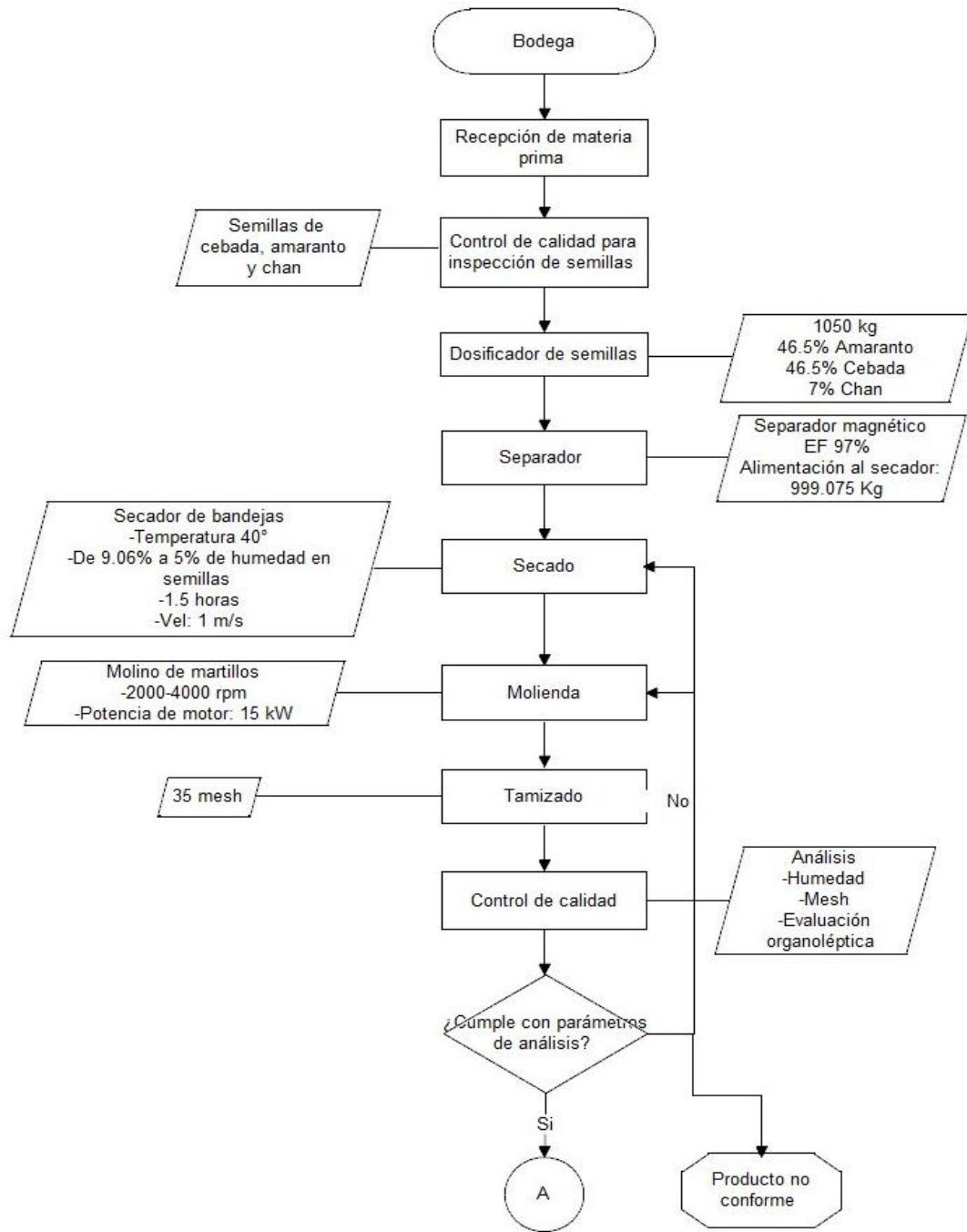
Figura 15. **Comparación de las mezclas de harina con semilla cruda y tostada**



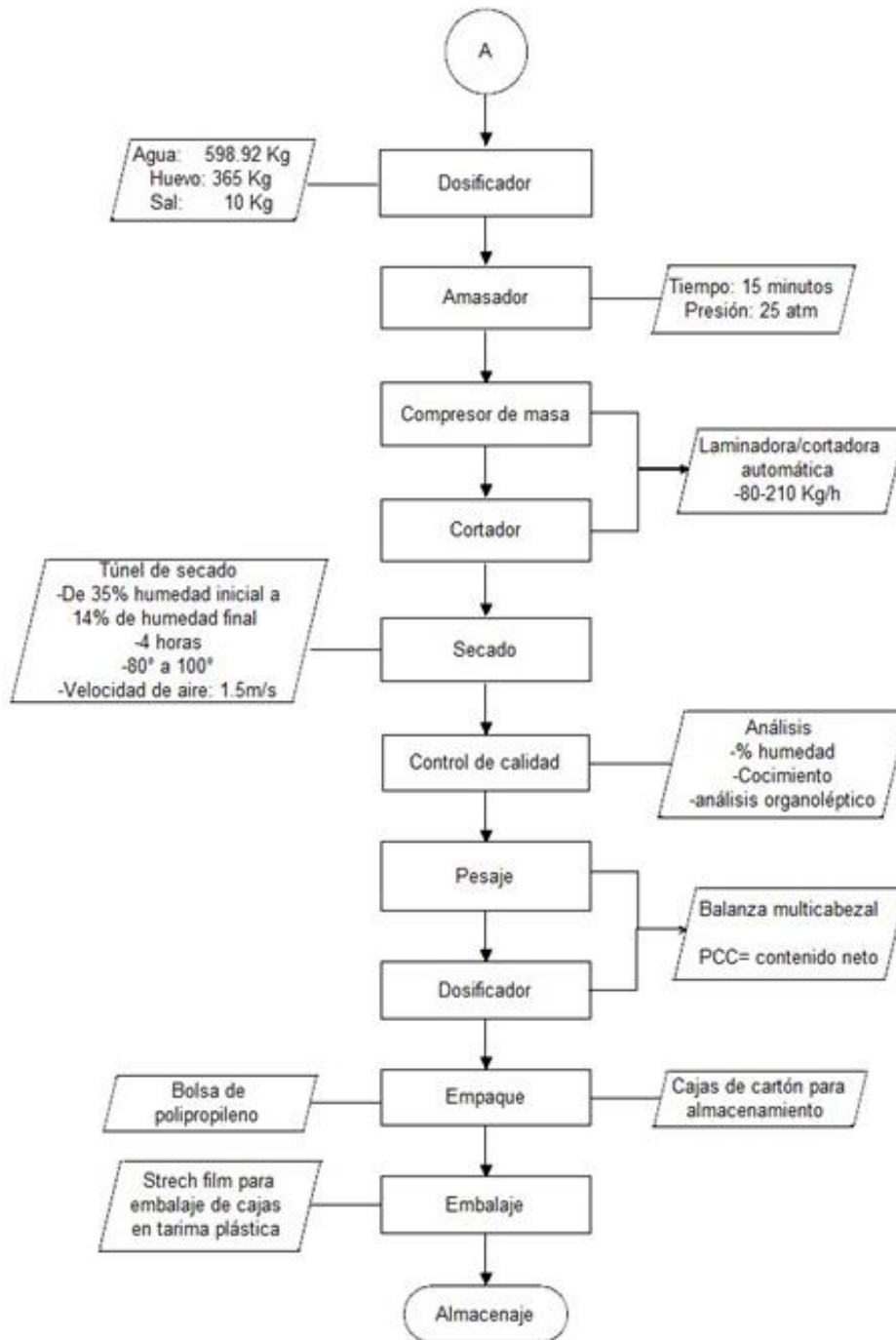
Fuente: elaboración en propia.

- Realizar el diagrama del proceso de producción para la elaboración de pastas a partir de la harina de cebada y amaranto enriquecida con harina de semillas de chan.

Figura 16. Diagrama de flujo del proceso para la producción de pasta

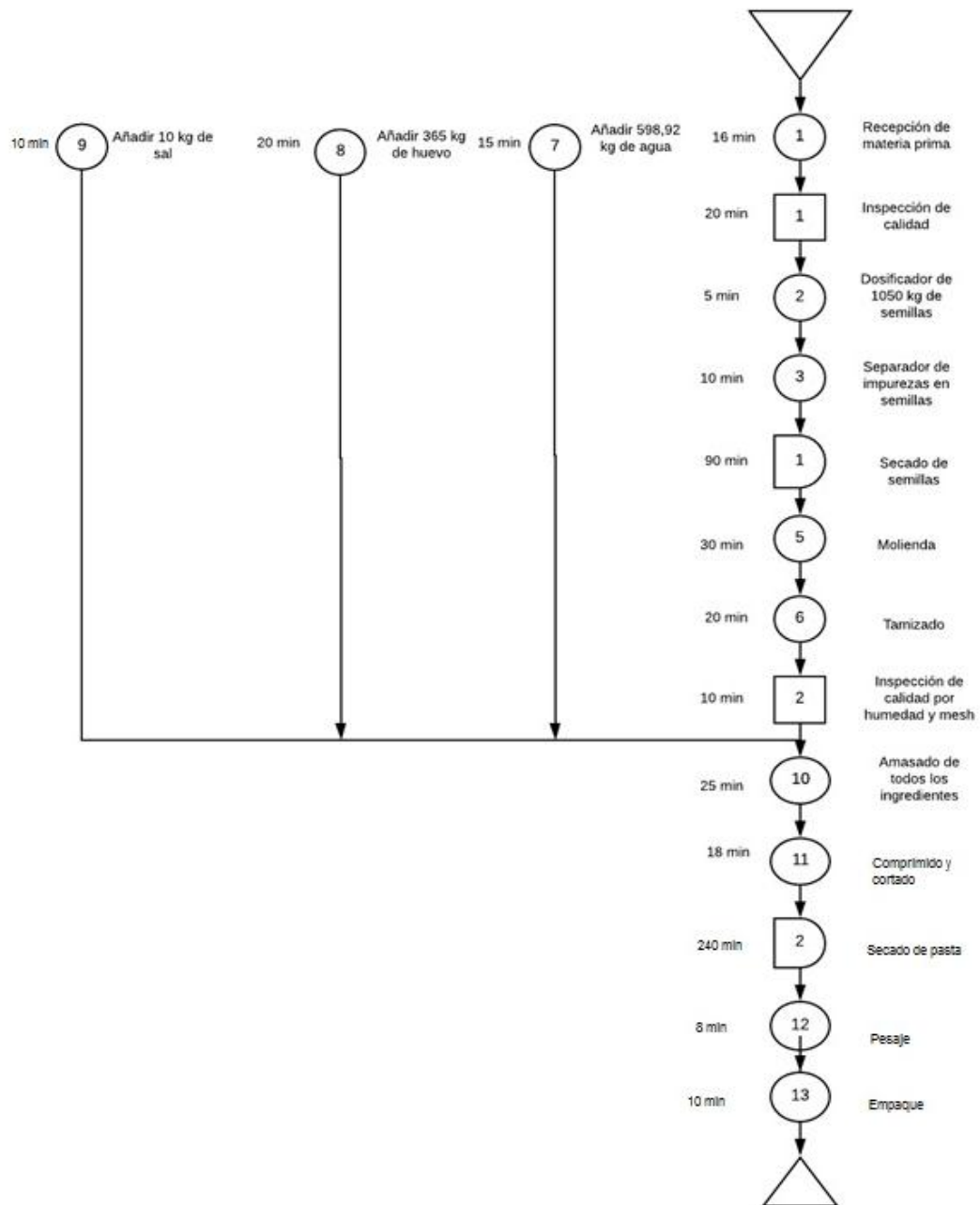


Continuación de la figura 16.






Fuente: elaboración en propia, empleando Visio 2010.

Figura 17. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pasta



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

Tabla XXXII. **Resumen del diagrama de flujo de proceso de la elaboración de pasta de harina de semilla de cebada, amaranto y chan**

<b>Operaciones</b>	<b>Simbología</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Cantidad</b>
Operación		187	13
Demora		330	2
Almacenamiento		-	2
Totales		517	17

Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El estudio realizado da a conocer el aporte nutricional de mezclas de harina obtenidas de semillas de cebada, amaranto y chan en distintas proporciones, así como la aceptación sensorial de pastas derivadas de las mezclas con el fin de obtener un alimento fortificado e innovador.

Se utilizaron estas semillas debido a que, la cebada es una fuente principal de fibra, que regula la digestión. El amaranto es un pseudocereal de excelente valor nutritivo que presenta un alto aporte energético, de proteínas y aminoácidos, y la semilla de chan presenta alto contenido de fibra, proteínas con aminoácidos esenciales y ácidos grasos esenciales como lo es el omega-3. Cabe mencionar que, la semilla de amaranto y chan son libres de gluten, y ayuda a las dietas de personas intolerantes al gluten. Gracias a la composición nutricional, obtenida de varias referencias bibliográficas, estas semillas tienen un alto potencial para ser utilizados en procesos de elaboración de alimentos.

Se plantearon las hipótesis de esta investigación, logrando así determinar la metodología de trabajo. Se planteó la formulación de 5 mezclas de harina de semilla de cebada y amaranto, a las cuales se les adicionó un 0,3,7,10 y 15 por ciento de harina de semilla de chan para determinar la composición química y nutricional de las mezclas enriquecidas. El análisis estadístico acepta la hipótesis nula al no encontrarse diferencia significativa en los nutrientes que aporta la mezcla de harina de cebada y amaranto, al adicionar diferentes cantidades de chan (*Salvia hispánica L*), esto se observa en las tablas XIV y XV del diseño metodológico. Por ende, no hay implicaciones en que las mezclas de estudio contengan semilla de chan por los resultados nutricionales obtenidos,

estos presentan variaciones leves que, por medio del análisis estadístico basado en medias, no se ven afectados los valores nutricionales entre las cinco mezclas. Para obtener diferencia significativa se podría evaluar la mezcla con porcentajes mayores de semilla de chan desde 20% a 50%.

En la tabla XXIX, se presenta la composición química y nutricional de las mismas, para esta la humedad permanece entre un valor de 6 a 9,20 por ciento, y cenizas 2,30 a 2,70 por ciento, al aumentar el contenido de chan, lo cual está dentro de las especificaciones (5 por ciento para cenizas y 14,5 por ciento para humedad), referencia tomada de la norma técnica colombiana de harinas. Esto indica que las muestras no facilitarán el desarrollo de microorganismos, eso hace apto al producto para su empleo en la elaboración de productos de pastelería, panadería y otros. La figura 15 presenta una tendencia variable para el porcentaje de agua, sin embargo, los resultados se encuentran dentro de las especificaciones normadas. Así mismo presenta una tendencia creciente como resultado del porcentaje de cenizas, siendo la muestra 5, la que mayor presenta con 2,66 por ciento.

Respecto al porcentaje de materia seca, la figura 15 muestra una tendencia variable, siendo las muestras 1,3 y 5 las que mayor porcentaje tienen. El extracto etéreo presenta una tendencia creciente, lo cual indica que las muestras con harina de semilla de chan son ricas en ácidos grasos. Cabe mencionar que uno de los beneficios del chan es que presenta omega-3, el cual es imprescindible en la dieta, al ser un ácido graso poliinsaturado y esencial. Esto indica que debe ser consumido porque el organismo no es capaz de sintetizarlo.

La fibra cruda también muestra la misma tendencia, variable creciente, presentando valores desde 2,88 hasta 14,67 por ciento en las muestras, siendo

un alimento rico en fibra insoluble y puede ser utilizado para elaboración de productos dietéticos por los porcentajes mostrados. Cabe mencionar que la fibra cruda es el material del que están formadas las paredes celulares de las semillas, y es la parte no digerible de los alimentos que resiste la digestión. Esto ayuda a acelerar el tránsito intestinal y también proporciona una sensación de saciedad en el consumidor, esto la hace apta para alimentos dietéticos.

El extracto libre de nitrógeno, o carbohidratos, se compone de almidón, lignina, pectinas, vitaminas hidrosolubles y azúcares que dan el valor energético al alimento. Las cinco muestras analizadas presentan una tendencia decreciente con valores que van desde 55,86 para la muestra 5 con 15% de chan hasta 73,36 por ciento para la muestra 1 con 0% de chan, siendo esta última, la mejor opción como fuente de carbohidratos para la ingesta. Este valor es determinado al restar, del porcentaje de materia seca, cuatro valores que son: cenizas, proteína cruda, fibra cruda y extracto etéreo.

Es necesario mencionar que la semilla de chan es rica en proteína, y se ve reflejado en las cinco muestras con una tendencia creciente para la muestra 1, 3 y 5, que van desde 16,61 a 17,74 por ciento. La proteína cruda mide el contenido de nitrógeno total de un producto y, de eso, estima la cantidad de proteína dentro del mismo. La semilla de chan aporta todos los aminoácidos esenciales, lo cual la convierte en una fuente de proteína de alta calidad, y compensa la carencia de algunos aminoácidos en las otras semillas utilizadas para elaborar la mezcla. La tabla VI. muestra los datos de las cantidades presentes en las semillas. Con base a esto, las muestras analizadas que presentan mayor porcentaje de chan, poseen gran cantidad de proteína, lo que refleja una mayor cantidad de aminoácidos que ayudan al buen desarrollo de huesos, tejidos y la regulación de niveles de azúcar y energía. Por lo tanto, la muestra 5 es la que mejor perfil de nutrientes brinda para la ingesta.

Al analizar los resultados nutricionales, se procedió a realizar el diseño de una pasta a partir de tres muestras de las mezclas de harina con 0,7 y 15 por ciento de chan, obteniendo una clase de pasta llamada fettuccini para someterla a una evaluación sensorial descriptiva, mediante la evaluación de escala hedónica de nueve puntos que partió de la degustación a una muestra de 30 consumidores.

La evaluación sensorial se realizó a partir de un panel no entrenado, tomando en cuenta panelistas de diversas edades. La escala de calificación que el panelista otorgó, varió desde: “me disgusta muchísimo” hasta “me gusta muchísimo”. Siendo 1 la puntuación más baja asignada a la categoría de “me disgusta muchísimo” y 9 la puntuación más alta asignada a la categoría de “me gusta muchísimo”.

Se obtuvo una mayor aceptación para la muestra con 7 por ciento de harina de semilla de chan, seguido de la muestra con 0 por ciento y por último la muestra con 15 por ciento. El promedio de la muestra con mejor aceptabilidad fue de  $6,99 \pm 1,06$  correspondiente a la categoría: “me gusta moderadamente”. Las figuras 7, 8 y 9 muestran la aceptabilidad de las muestras en porcentaje.

La segunda hipótesis de investigación partió de la evaluación sensorial, indicando que, conforme aumenta la proporción de chan (*Salvia hispánica* L), en las mezclas de harina formulada, disminuye la aceptabilidad sensorial del producto. Los resultados se observan variables, puesto que, la muestra con porcentaje medio (7 por ciento), es la más aceptada por los panelistas, seguida por la muestra con 0 por ciento y por último la que posee 15 por ciento. El análisis estadístico y la prueba de Tukey, determinan esta tendencia,

rechazando la hipótesis nula debido a que la muestra 5 es la menos aceptada por los panelistas.

Se evaluó la diferencia entre las propiedades nutricionales de la mezcla de harina de semillas molidas tostadas o deshidratadas y crudas. Se determinó que las primeras son menores en porcentaje de materia seca total, fibra cruda (excepto la muestra con 15 por ciento de semilla de chan), cenizas y la tendencia decrece para proteínas. El extracto etéreo presenta valores mayores para las mezclas de semillas tostadas o secas y el extracto libre de nitrógeno, muestra valores variables entre las mezclas, sin embargo, la tendencia que presentan entre los grupos es decreciente.

Respecto al porcentaje de agua, se presenta una tendencia creciente para las muestras de harina realizadas con semilla cruda, las cuales van desde 5,42 hasta 8,08 por ciento, sin embargo, los porcentajes de las mezclas de harina hechas con semilla seca presentan valores variables que van desde 6,61 hasta 7,65 y una tendencia decreciente que se pueden observar en la figura 15.

Se esperaba un porcentaje menor de agua para las muestras de semilla seca debido a la evaporación de agua por el proceso de secado. Sin embargo, los resultados fueron variables y levemente mayores respecto a las muestras realizadas con semilla cruda. Según Shuey & Tipples (1980), los gránulos de almidón de la cebada, al ser sometidos a un severo tratamiento térmico, los puentes de hidrógeno que unen las moléculas en red micelar se quiebran, favoreciendo a la capacidad de hidratación de las cadenas glucosídicas, así, se tiene un proceso de hinchamiento irreversible, que irá a reflejar al grado de gelatinización del almidón.

Esto se manifiesta en la muestra 1 que presenta mayor cantidad de cebada seguida de la muestra 3, por ende, aumenta el porcentaje de humedad en las muestras de harina de semilla seca, debido a la absorción de la humedad del ambiente.

El análisis estadístico y las pruebas de Tukey realizadas a las muestras de harina cruda y tostada con 0,7 y 15% de chan, indican que no hay diferencia significativa entre los valores nutricionales entre ellas. Esto se observa en la tabla XXXI.

Es necesario mencionar que, si se evaluaran las propiedades organolépticas, se podrían determinar diferencias en las muestras de harina de semilla cruda y tostada debido a la reacción de Maillard, que aporta sabor, aroma y apariencia a los alimentos, siendo estas últimas, propiedades que no son perceptibles por equipos tecnológicos o herramientas si no que son percibidas únicamente por el ser humano.

Por medio de los resultados obtenidos se inició con la elaboración del diagrama del proceso para la elaboración industrial de pasta con harina de semilla de cebada, amaranto y chan realizando un balance de masa y energía con una alimentación de semillas de 1050 kg. En la sección de muestra de cálculo se presentan las fórmulas y datos obtenidos para el balance.

El proceso inicia con la recepción de materia prima de semillas que son almacenadas en silos y son inspeccionadas por el Departamento de Calidad, para evaluar las propiedades de las mismas. Se procede con la dosificación de semillas con la formulación de 7% de semilla de chan y el lavado preliminar del grano mediante corrientes de aire que separan el polvo, la paja y otras

impurezas por medio de un equipo magnético y luego se cepilla para que quede el grano completamente limpio.

Para la obtención de harina se procede a secar las semillas utilizando un secador de bandejas por hora y media a una temperatura de 40° Celsius, hasta llegar a una humedad del 5 por ciento. Luego, las semillas pasan a través de un molino de martillos a una velocidad que puede variar entre 2000 a 4000 rpm. Se procede a tamizar los granos con una especificación de 35 mesh para la obtención de harinas. Se debe realizar una inspección de calidad a la harina obtenida.

Posteriormente se mezcla la harina con agua, sal, huevos y aceite para obtener una masa moldeable y lograr así, el producto deseado a través de la compresión y corte con una lámina cortadora automática.

La pasta cruda pasa por un túnel de secado a temperaturas que van desde 80 a 100 ° Celsius por un tiempo promedio de 4 horas permitiendo que el producto resulte con 14 por ciento de humedad, que formará los fideos que serán transportados hacia la balanza multicabezal para el pesaje y por último, a la empacadora que formará los paquetes según la presentación de la pasta y la colocación en cajas para el embalaje. Se debe validar el contenido neto del producto empacado. El diagrama de flujo del proceso se muestra en la figura 16.





## CONCLUSIONES

1. El contenido de grasa, cenizas, fibra cruda y proteína aumenta conforme incrementa el porcentaje de harina de semilla de chan desde 0,3,7,10 y 15 por ciento.
2. El análisis nutricional determinó que la calidad proteica de las muestras aumenta desde 16,8 a 17,73 por ciento y la fibra cruda desde 2,88 a 14,67 por ciento, conforme se incrementa el porcentaje de harina de semilla de chan en las mismas.
3. El análisis estadístico determinó que no existe diferencia significativa entre los valores nutricionales de las cinco mezclas formuladas de harina de semilla de cebada, amaranto y chan que se presentan en la tabla XXIX.
4. De acuerdo a la evaluación sensorial, se determinó que la mezcla con un buen aporte proteico, nutricional y con mayor aceptación, es la mezcla tres, y contiene un 7 por ciento de harina de semilla de chan.
5. El valor promedio de la muestra con mejor aceptabilidad fue de  $6,99 \pm 1,06$  correspondiente a la categoría “me gusta moderadamente” y está enriquecida con siete por ciento de harina de semilla de chan.
6. No hay diferencia significativa entre los valores nutricionales de las mezclas de harina de semilla cruda y semilla seca, debido a los

resultados del análisis estadístico obtenidos, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula C.

7. Las mezclas de semilla seca/tostada con 0 y 7% de chan presentan mayor humedad a las mezclas de semilla cruda, debido a que la harina de cebada es higroscópica, al ser favorecida por el tratamiento térmico de secado.
  
8. El proceso de producción de pasta incluye la recepción de materia prima, dosificación de semillas, secado, molienda, tamizado, pesado, dosificación de ingredientes, mezclado, amasado, compresión y corte de la masa, secado de fideos, pesaje, empaque y distribución.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar las propiedades de otros tipos de productos alimenticios donde se utilice como materia prima la mezcla de harina de semilla de cebada, amaranto y chan, así como determinar el grado de aceptabilidad de estos nuevos productos en el mercado guatemalteco.
2. Realizar una evaluación nutricional de la pasta obtenida del proceso para compararla con la pasta tradicional elaborada con harina de trigo.
3. Debido al alto contenido de nutrientes de las semillas de amaranto y chan, se recomienda utilizarlas en la elaboración de alimentos nutricionalmente mejorados.
4. Difundir la información necesaria para promover el aprovechamiento de estas semillas, que son súper alimentos, ricos en componentes nutricionales, para el desarrollo de tecnología alimentaria y su utilización en otras industrias.
5. Considerar que la humedad relativa afecta la humedad de las mezclas de harina por su propiedad higroscópica.
6. Evaluar la factibilidad económica del proyecto para la realización de pasta con harina de cebada, amaranto y chan a nivel industrial.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO RUPLIN, Dolores Ixmucané. *Caracterización de la semilla de chan (Salvia hispánica L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente*. [en línea]. <[http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-23/REVISTA\\_23\\_pag\\_43-49.pdf](http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-23/REVISTA_23_pag_43-49.pdf)>. [Consulta: 15 de octubre de 2015].
2. ANDERSON, David. *Estadística para negocios y economía*. 11a ed. México: Cengage learning, 2012. 1091 p.
3. AYERZA, Ricardo. COATES, Wayne. *Chía*. Arizona, EEUU.: Del Nuevo Extremo S.A., 2006. 213 p.
4. BADUI, Salvador. *Química de los alimentos*. 4a ed. México: Pearson Educación, 2006. 716 p.
5. BRESSANI, Ricardo; RODAS, Brenda. *Caracterización química y nutricional*. [en línea]. <[http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-16/REV\\_16\\_pp\\_42-62\\_carac\\_quimi\\_y\\_nutri.pdf](http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-16/REV_16_pp_42-62_carac_quimi_y_nutri.pdf)>. [Consulta: 20 de julio de 2016].
6. *Comparaciones múltiples*. [en línea]. <<http://www.ugr.es/~bioestad/guiaspss/practica7/ArchivosAdjuntos/ComparacionesMúltiples.pdf>>. [Consulta: mayo de 2018].

7. CHARLEY, Helen. *Tecnología de los alimentos*. México: Limusa, 2007. 767 p.
8. ELIAS, Luis. *Concepto y tecnología para la elaboración y uso de harinas compuestas*. [en línea]. <<http://www.bvssan.incap.org.gt/local/file/ppnt006.pdf>>. [consulta: 11 de octubre de 2015].
9. GONZÁLES, Yólotl. *Animales y plantas en la cosmovisión mesoamericana*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2001. 322 p.
10. MAPES, Emma. *El Amaranto*. España: Revista Ciencia. 2015. 8 p.
11. MORALES, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. [en línea]. <<http://www.upcomillas.es/personal/peter/analisisdevarianza/ANOVAIntroduccion.pdf>>. [Consulta: 30 de mayo de 2015].
12. ORTEGA, Eduardo. *El amaranto – pequeñas semillas con fuerzas colosales*. [en línea]. <<http://www.madeleine-porr.de/AMARANTO.pdf>>. [Consulta: 10 de octubre de 2015].
13. PALMA COLINDRES, Leslie Janette, *Valor nutritivo y evaluación de aceptabilidad de una galleta formulada a base de trigo, amaranto y ajonjolí en niños escolares*. Trabajo de graduación de lic. Química Farmacéutica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2014. 58 p.

14. PERRY, R. H. *Manual del Ingeniero Químico*. 6a ed. Tomo II. México: McGraw-Hill, 1992. 680 p.
15. ROSAS, Gabriela. *Alimentos nutricionalmente mejorados*. [en línea]. <[https://edoc.tips/download/alimentos-mejorados-y-fortificados\\_pdf](https://edoc.tips/download/alimentos-mejorados-y-fortificados_pdf)>. [consulta: 7 de agosto de 2018].
16. ROSENTRATER, Kurt; EVERS, A. *Kent's, Technology of cereals*. 5a ed. Reino Unido: Elsevier, 2018. 924 p.
17. USDA. *National Nutrient Database for Standard Reference Full Report (All Nutrients) 20001, Amaranth grain, uncooked Report*. [en línea]. <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3610>>. [Consulta: 10 de septiembre de 2018].





## APÉNDICES

### Apéndice 1. Receta para preparación de pasta

- Masa
  - Ingredientes
    - Harina de semilla de cebada
    - Harina de semilla de amaranto
    - Harina de semilla de chan
    - Agua
    - Aceite
    - Un huevo
    - Sal
  - Procedimiento de elaboración de masa para pasta
    - Formar un pozo con la cantidad de harina a utilizar dejando un espacio en medio.
    - Agregar el huevo en el espacio dejado entre la harina.
    - Agregar un gramo de sal.
    - Mezclar el huevo con un tenedor.
    - Incorporar cantidades pequeñas de harina de los alrededores.
    - Agregar la harina restante del pozo y mezclar ayudándose de un cortador de masa para un mejor manejo.
    - Agregar 30 ml de agua a la mezcla.
    - Formar una bola de masa.

## Continuación del apéndice 1.

- Amasarla hasta tener una masa tersa, esto toma aproximadamente 10 minutos.
  - Colocar la bola de masa tersa en un recipiente hondo.
  - Cubrir el recipiente con plástico adherible.
  - Refrigerar por 1 hora.
- 
- Pasta
    - Procedimiento para elaboración de pasta
      - Pasado el tiempo de reposo, proceder a estirar la masa
      - Colocar una poca cantidad de harina en la mesa de trabajo para que la masa no se adhiera
      - Tomar la mitad de la bola de masa y estirar con las manos.
      - Ajustar el rodillo de la máquina para pasta en la abertura más grande y pasar la masa por la máquina.
      - Agregar un poco de harina a la superficie si se siente húmeda.
      - Repetir aproximadamente 4 veces hasta obtener una masa lisa y compacta.
      - Ajustar el rodillo, tres números menores que el primero, para afinar la masa y se deja al grosor deseado.
      - Cortar la masa como tallarines con los accesorios de la máquina.
      - Preparar y frotar el secador de pasta con harina previo a colocar los tallarines para que la pasta no se pegue.

Continuación del apéndice 1.

- Cocción de pasta
  - Agregar un litro y medio de agua con 1 gramo de sal a una olla y llevar a ebullición.
  - Cocer la pasta 7 minutos y evaluar la consistencia.
  - Preparar la pasta con aceite, cebolla, salsa y queso mozzarella para degustar.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Costo para el proceso experimental en la elaboración del trabajo de graduación**

<b>Actividad</b>	<b>Costo Total (Q)</b>
Materia prima	600,00
Análisis proximal	1 000,00
Análisis sensorial	250,00
Transporte	300,00
Material de oficina	100,00
Impresiones	200,00
Teléfono e internet	300,00
Consultoría	800,00
<b>TOTAL</b>	<b>3 550,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Especificaciones de los equipos requeridos según las condiciones de trabajo para la obtención de harina y preparación de pasta**

- Molienda

Para la cantidad de harina que se requiere, 956,38 kg, se recomienda un molino de martillos con capacidad de 1 tonelada, este requiere de un motor de 15 kW y trabaja a 3600 revoluciones por minuto para la obtención de harina.

Continuación del apéndice 3.

- Tamizado

Se desea que la harina cumpla con una granulometría de 35 mesh.

- Control de calidad

Al obtener las harinas, pasará por análisis de calidad para validar el cumplimiento de las especificaciones requeridas. Los análisis a realizar son:

- Humedad %
- Mesh
- Pruebas organolépticas

Continuación del apéndice 3.

- Dosificador

Los ingredientes necesarios para la preparación de pasta con 1000 kg de harina son 5,000 huevos (365 kg) y 600 litros de agua (598,92 kg) y sal (10 kg) que se dosificarán a la harina (956,38 kg) para obtener una masa elástica.

- Amasador/compresor

Para la obtención de masa se necesita fuerza mecánica para el amasado de 1930,30 kg de la misma. Para ello se hace uso de un amasador con potencia de 7 kW a una presión de 25 atm que permitirá entregar una masa elástica y moldeable.

- Cortador

Se obtienen planchas de masa comprimidas de 2mx0,005m de largo y ancho para luego ser cortados en tiras para formar el fettuccini.

Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 4. **Balance de masa en túnel de secado de fideos**

Balance general en túnel de secado:

$$F + X = G + Y$$

[Ec. 19, Ref. 7]

Continuación del apéndice 4.

Donde:

F = corriente de alimentación al secador 1930,30 kg

X = corriente de alimentación de aire al secador kg

Y = corriente de salida de aire kg

G = corriente de fideos secos en kg

Balances parciales:

- Sólidos

Con la ecuación 19 y los porcentajes de entrada y salida de sólidos en la mezcla, obtenidos con la diferencia de humedad de fideos frescos y la humedad requerida para el producto seco, se determinó el siguiente balance:

$$F * S_f + X * S_x = G * S_g + Y * S_y$$

[Ec. 20, Ref. 7]

Donde:

S<sub>f</sub> = porcentaje de sólidos en la corriente F 60%

S<sub>x</sub> = porcentaje de sólidos en la corriente X 0%

S<sub>g</sub> = porcentaje de sólidos en la corriente G 85%

S<sub>y</sub> = porcentaje de sólidos en la corriente Y 0%

Continuación del apéndice 4.

En la corriente de entrada se tiene el porcentaje de 60% y la de salida cuenta con 85 % de sólidos. La corriente de aire no presenta ningún porcentaje de sólidos.

$$\begin{aligned}F * S_f + X * S_x &= G * S_g + Y * S_y \\1930,30 * 0,60 + X * 0 &= G * 0,85 + Y * 0 \\G &= 1362,56 \text{ kg de pasta seca}\end{aligned}$$

- Vapor-humedad

Con la ecuación 20 y los porcentajes de entrada y salida de humedad del aire para el proceso se obtiene la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}F * H_f + X * H_x &= G * H_g + Y * H_y \\[Ec. 21, Ref. 7]\end{aligned}$$

La pasta ingresa al secador con una humedad de 40% y debe salir con un 15%. La corriente de aire caliente ingresa con una humedad de 20% a 85° y sale con la humedad extraída del 80% a 40°. Con ayuda de la carta psicrométrica de Carrier se obtienen las composiciones de humedad a ambas condiciones y se obtiene 0,076% para la salida y 0,039% para la entrada de aire:

$$\begin{aligned}F * H_f + X * H_x &= G * H_g + Y * H_y \\1930,30 * 0,40 + X * 0,039 &= 1362,56 * 0,15 + Y * 0,076 \\772,12 + X * 0,039 &= 204,38 + Y * 0,076 \\567,74 + X * 0,039 &= Y * 0,076\end{aligned}$$

Continuación del apéndice 4.

[Ec. 22]

Del balance general y despejando con los datos que se tienen:

$$F + X = G + Y$$
$$1930,30 + X = 1362,56 + Y$$

$$567,74 + X = Y$$

[Ec. 23]

Sustituyendo la ecuación 23 en la ecuación 22 se obtiene la alimentación en la corriente de aire:

$$567,74 + X * 0,039 = Y * 0,076$$
$$567,74 + X * 0,039 = (567,74 + X) * 0,076$$
$$567,74 + 0,039 * X = 43,15 + 0,076 * X$$
$$X = 14178,11 \text{ kg de aire}$$

Despejando la ecuación 23 se obtiene la corriente de salida de aire en el secador:

$$567,74 + X = Y$$
$$567,74 + 14178,11 = Y$$
$$Y = 14745,85 \text{ kg de aire}$$

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 5. **Energía necesaria para el secado de granos en el secador de bandejas**

Al obtener las cantidades en las corrientes de aire al secador y las condiciones de operación se busca en la carta psicrométrica de Carrier las entalpías a la temperatura de 85°, 20% y 40°, 80% que son las condiciones ambientales del aire y las condiciones que se necesitan para el proceso.

$$h_o = \frac{\text{kJ}}{\text{kg de aire}} \qquad h_f = \frac{\text{kJ}}{\text{kg de aire}}$$

Con estos datos se obtiene el calor necesario para el secado:

$$Q = m * \Delta h * \Delta T$$

[Ec. 18]

Donde:

m = masa de aire de secado kg = C

$\Delta h$  = diferencia de entalpías a la entrada y salida del secador kJ/kg

$\Delta T$  = diferencia de temperaturas del aire del proceso

Despejando con los datos obtenidos:

$$Q = m * \Delta h * \Delta T$$
$$Q = 21049,595 * (76,5 - 46) * (40 - 20)$$
$$Q = 12840252,95 \text{ kJ}$$

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6 **Propiedades nutricionales de tres mezclas de harina de semilla cruda y seca analizadas**

Base	Propiedad	0 %		7 %		15 %	
		CRUDO	TOSTADO	CRUDO	TOSTADO	CRUDO	TOSTADO
	AGUA	5,42	7,65	6,38	6,61	8,08	7,45
	MST	94,58	92,35	93,62	93,39	91,92	92,55
SECA	EE	4,6	4,64	6,4	6,53	9,09	9,08
COMO ALIMENTO		4,35	4,29	5,99	6,09	8,36	8,4
SECA	FIBRA CRUDA	3,02	2,88	8,72	4,06	7,56	14,67
COMO ALIMENTO		2,85	2,66	8,16	3,79	6,95	13,58
SECA	PROTEINA	16,71	16,8	17,05	16,61	18,37	17,73
COMO ALIMENTO		15,81	15,52	15,96	15,51	16,89	16,41
SECA	CENIZAS	2,32	2,32	2,48	2,42	2,68	2,66
COMO ALIMENTO		2,19	2,14	2,32	2,26	2,46	2,46
	ELN	73,36	73,36	65,36	70,39	62,3	55,86

Fuente: Fuente: elaboración propia, empleando hoja de datos originales, anexos.

Apéndices 7. **Evaluación hedónica de las muestras con 0,7 y 15 por ciento de chan**

Panelistas	Color			Olor			Sabor		
	M1	M3	M5	M1	M3	M5	M1	M3	M5
1	8	6	4	8	7	6	8	7	5
2	8	7	7	8	8	8	9	8	8
3	9	9	7	9	8	8	9	8	7
4	3	2	1	5	5	5	4	6	4
5	6	8	7	7	8	8	7	8	7
6	6	7	7	8	8	8	8	8	8
7	5	5	5	6	6	6	4	6	3
8	3	5	5	7	6	5	6	8	6
9	6	8	5	7	8	5	8	9	4
10	8	6	4	8	7	7	8	7	5
11	8	8	3	8	8	8	7	7	7
12	4	4	7	7	7	7	7	7	7
13	7	4	7	8	8	8	6	8	4
14	4	6	5	5	6	6	6	9	5
15	6	7	2	7	8	5	7	9	4
16	8	6	4	8	7	6	4	8	4
17	6	8	5	6	4	8	5	9	3
18	7	4	5	7	7	7	8	7	7
19	7	5	4	8	8	8	7	8	6
20	7	4	7	7	5	9	6	7	5

Continuación del apéndice 7.

21	5	6	4	8	8	8	8	7	8
22	5	5	5	6	6	6	5	6	3
23	6	7	6	8	8	8	8	8	8
24	8	6	4	8	7	7	8	8	5
25	6	4	2	7	7	7	6	7	7
26	8	8	7	8	8	8	7	8	9
27	5	5	4	7	7	7	6	6	5
28	6	8	5	7	8	7	8	9	5
29	8	9	7	8	9	8	8	9	8
30	8	8	7	8	8	8	8	7	8
promedio	6.3667	6,1667	5,0667	7,3000	7,1667	7,0667	6,8667	7,6333	5,8333
total	191	185	152	219	215	212	206	229	175
DE	1.6078	1,7633	1,7207	0,9523	1,1472	1,1427	1,4320	0,9643	1,7827

Fuente: elaboración propia, empleando hoja de datos de pruebas sensoriales.

Apéndice 8. **Resultados de prueba de aceptabilidad**

Escala hedónica		0	7	15
Me disgusta muchísimo	1	0	0	0
Me disgusta mucho	2	0	0	0
Me disgusta moderadamente	3	0	0	2
Me disgusta un poco	4	1	1	4
Me es indiferente	5	5	3	9
Me gusta un poco	6	7	8	5
Me gusta moderadamente	7	10	11	9
Me gusta mucho	8	6	6	1
Me gusta muchísimo	9	1	1	0
Total		30	30	30

Fuente: elaboración propia, empleando evaluación hedónica a panelistas no entrenados.

Apéndice 9. **Puntajes asignados por los panelistas a las muestras en la prueba hedónica**

Panelistas	0% chan m1	7% chan m3	15% chan m5
1	8,00	6,67	5,00
2	8,33	7,67	7,67
3	9,00	8,33	7,33
4	4,00	4,33	3,33
5	6,67	8,00	7,33
6	7,33	7,67	7,67
7	5,00	5,67	4,67

Continuación del apéndice 9.

8	5,33	6,33	5,33
9	7,00	8,33	4,67
10	8,00	6,67	5,33
11	7,67	7,67	6,00
12	6,00	6,00	7,00
13	7,00	6,67	6,33
14	5,00	7,00	5,33
15	6,67	8,00	3,67
16	6,67	7,00	4,67
17	5,67	7,00	5,33
18	7,33	6,00	6,33
19	7,33	7,00	6,00
20	6,67	5,33	7,00
21	7,00	7,00	6,67
22	5,33	5,67	4,67
23	7,33	7,67	7,33
24	8,00	7,00	5,33
25	6,33	6,00	5,33
26	7,67	8,00	8,00
27	6,00	6,00	5,33
28	7,00	8,33	5,67
29	8,00	9,00	7,67
30	8,00	7,67	7,67
promedio	6,8444	6,9889	5,9889

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 10. Prueba de aceptabilidad en porcentaje**

Escala hedónica		0 % chan M1	7 % chan M3	15 % chan M5
Me disgusta muchísimo	1	0 %	0 %	0 %
Me disgusta mucho	2	0 %	0 %	0 %
Me disgusta moderadamente	3	0 %	0 %	6,67 %
Me disgusta un poco	4	3,33 %	3,33 %	13,33 %
Me es indiferente	5	16,67 %	10,00 %	30,00 %
Me gusta un poco	6	23,33 %	26,67 %	16,67 %
Me gusta moderadamente	7	33,33 %	36,67 %	30,00 %
Me gusta mucho	8	20,00 %	20,00 %	3,33 %
Me gusta muchísimo	9	3,33 %	3,33 %	0 %

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Análisis de varianza de las cinco mezclas propuestas con diferente proporción de ingredientes**

ANOVA								
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	0,00	4	0	0,0000000033	1	2,6896	2,18211E-05	-0,12903226
Within Groups	38573,79	30	1285,7930					
Total	38573,7908	34	1134,5233					

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la ecuación 10 de la tabla XIII.


Apéndice 12. **Pares de promedio comparados para determinar diferencia en evaluación hedónica**

Pares comparados	Diferencia de promedio	Comparador	Conclusión	
M1 contra M3	0,6782	3,37	Iguales	A
M1 contra M5	4,0173		No son iguales	B
M3 contra M5	4,6955		No son iguales	B

Fuente: elaboración propia.

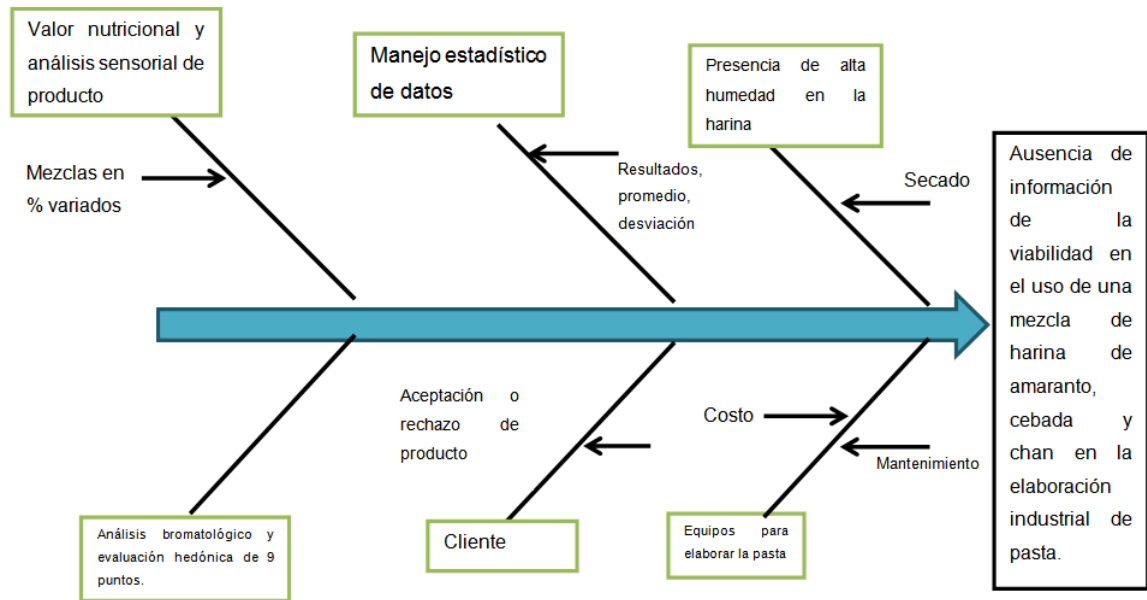
Apéndice 13. **Tabla de requisitos académicos**

CARRERA	CAMPOS DE CONOCIMIENTO	DISCIPLINAS	SUBDISCIPLINA	TEMA GENÉRICO	TÍTULO
Licenciatura en Ingeniería Química	Ingeniería Tecnología	*Química *Fisicoquímica *Operaciones Unitarias *Área complementaria *Ciencias básicas	*Análisis Cuantitativo *Análisis Cualitativo *Microbiología *Fisicoquímica *Bioquímica *Transferencia de masa *Diseño de plantas *Diseño de equipo *Estadística 1 y 2 *Tecnología de los alimentos	Formulación y análisis de un producto para utilización industrial.	DESARROLLO DE LA FORMULACION DE UNA HARINA DE CEBADA, AMARANTO Y CHAN ( <i>Salvia hispanica L.</i> ), EVALUACION NUTRICIONAL Y DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACION DE PASTA.



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 14. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 15. Muestra de cálculo

- Balance de masa en el separador de impurezas en semillas dosificadas

Se dosifican de 46.5% de amaranto y cebada con 7% de chan dando como resultado una alimentación de 1050 Kg. El separador cuenta con una eficiencia del 97%. La impureza promedio de la alimentación de semillas es de 5%.

Balance general en el separador:

$$D = I + A$$

[Ec. 11, Ref. 7]

Donde:

D = dosificación/alimentación de semillas (1050 kg)

I = corriente de impurezas kg

A = alimentación al secador kg

Balance de impurezas:

$$D * \%iD = I * iI + A * iA$$

[Ec. 12, Ref. 7]

$$1\ 050 * 0,05 = I * 1 + (1\ 050 * 0,05 * 0,03)$$

$$I = 50,925 \text{ kg de impurezas}$$



Continuación del apéndice 15.

Del balance general se obtiene la corriente de alimentación al secador A con los datos de las corrientes D e I.

$$D = I + A$$

$$1\ 050\ \text{kg} = 50,925\ \text{kg} + A$$

$$A = 999,072\ \text{kg de semillas al secador}$$

De la ecuación 12 determinamos las impurezas en la salida del separador,  $i_A$  con los datos que se tienen:

$$D * \%i_D = I * i_I + A * i_A$$

$$1\ 050 * 0,05 = 50,925 * 1 + 999,072 * i_A$$

$$i_A = 0,1576\ \%$$

- Balance de masa en el secador de bandejas

En el secador de bandejas se controla la velocidad del aire al sólido, la temperatura de operación y el tiempo de secado. Se inyecta una corriente de aire caliente para el proceso. El aire debe estar a 40° Celsius por un tiempo de una hora y 30 minutos a una velocidad de  $2 \frac{m}{s}$ . Para ello, la humedad relativa del aire debe estar en un rango de 30 a 40%. El aire de salida del secador estará a 25° Celsius y humedad relativa de 80% por la absorción de vapor de agua del sólido. Con la carta psicrométrica de Carrier se obtienen las cantidades de kilogramos de agua por kilogramos de aire con las temperaturas y humedades dadas.

Continuación del apéndice 15.

La alimentación A de 999,072 kg que entra al secador y la humedad inicial de las semillas de 9,06%, se desea llegar al 5% de humedad final para la molienda.

Balance general en el secador:

$$A + B = C + S$$

[Ec. 13, Ref. 7]

Donde:

A = corriente de alimentación al secador, 999,075 kg

B = corriente de alimentación de aire al secador kg

C = corriente de salida de aire kg

S = corriente de sólido seco kg

Balances parciales:

- Sólidos

Con la ecuación 13 y los porcentajes de entrada y salida de sólidos en la mezcla, se obtiene la siguiente ecuación:

$$A * Sa + B * Sb = C * Sc + S * Ss$$

[Ec. 14, Ref. 7]

Continuación del apéndice 15.

Donde:

Sa = porcentaje de sólidos en la corriente A 90,94%

Sb = porcentaje de sólidos en la corriente B 0%

Sc = porcentaje de sólidos en la corriente C 0%

Ss = porcentaje de sólidos en la corriente S 95%

En la corriente de entrada se tiene el porcentaje de 90,94% y la de salida cuenta con 95% de sólidos. La corriente de aire no presenta ningún porcentaje de sólidos.

$$\begin{aligned}A * Sa + B * Sb &= C * Sc + S * Ss \\999,075 * 0,9094 + B * 0 &= C * 0 + 0,95 * S \\S &= 956,38 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Vapor-humedad

Con la ecuación 13 y los porcentajes de entrada y salida de humedad en la mezcla, se obtiene la siguiente ecuación:

$$A * Ha + B * Hb = C * Hc + S * Hs$$

[Ec. 15, Ref. 7]

Las semillas ingresan al secador con una humedad de 9,06% y deben salir con un 5 %. La corriente de aire ingresa con una humedad de 30% a 40° y sale con la humedad extraída del 80 % a 25 °C. Con ayuda de la carta psicrométrica de Carrier obtenemos las composiciones de humedad a ambas condiciones y obtenemos 0,016 % para la salida y 0,014 % para la entrada de aire:

Continuación del apéndice 15.

$$A * H_a + B * H_b = C * H_c + S * H_s$$
$$999,075 * 0,0906 + B * 0,014 = C * 0,016 + 956,38 * 0,016$$

$$42,697 + B * 0,014 = C * 0,016$$

[Ec. 16]

Del balance general y despejando con los datos que se tienen:

$$A + B = C + S$$
$$999,075 + B = C + 956,38$$
$$42,695 + B = C$$

[Ec. 17]

Sustituyendo la ecuación 17 en la ecuación 16 se obtiene la alimentación en la corriente de aire:

$$42,697 + B * 0,014 = C * 0,016$$
$$42,697 + B * 0,014 = (42,695 + B) * 0,016$$
$$42,697 + B * 0,014 = 0,68312 + 0,016 * B$$
$$B = 21006,90 \text{ kg de aire}$$

Despejando la ecuación 17 se obtiene la corriente de salida de aire en el secador:

$$42,695 + B = C$$
$$42,695 + 21006,90 = C$$
$$C = 21049,595 \text{ kg de aire}$$

Continuación del apéndice 15.

- Energía necesaria para el secado de granos en el secador de bandejas

Al obtener las cantidades en las corrientes de aire al secador y las condiciones de operación se busca en la carta psicrométrica de Carrier, las entalpías a la temperatura de 40°, 30% y 20°, 70% que son las condiciones ambientales del aire y las condiciones que se necesitan para el proceso.

$$h_o = 46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg de aire}} \qquad h_f = 76,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg de aire}}$$

Con estos datos se obtiene el calor necesario para el secado:

$$Q = m * \Delta h * \Delta T$$

[Ec. 18]

Donde:

m = masa de aire de secado kg = C

$\Delta h$  = diferencia de entalpías a la entrada y salida del secador kJ/kg

$\Delta T$  = diferencia de temperaturas del aire del proceso

Despejando con los datos obtenidos:

$$Q = m * \Delta h * \Delta T$$
$$Q = 21049,595 * (76,5 - 46) * (40 - 20)$$
$$Q = 12840252,95 \text{ kJ}$$

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Propiedades nutricionales de las cinco mezclas de harina de semilla seca de cebada, amaranto y chan analizadas**

<b>Propiedad (por ciento)</b>	<b>M1 0 %</b>	<b>M2 3 %</b>	<b>M3 7 %</b>	<b>M4 10 %</b>	<b>M5 15 %</b>
AGUA	7,65	9,17	6,61	8,92	7,45
M.S.T	92,35	90,83	93,39	91,08	92,55
E.E.	4,64	6,29	6,53	7,52	9,08
FIBRA CRUDA	2,88	7,36	4,06	5,29	14,67
PROTEINA CRUDA	16,8	17,19	16,61	17,74	17,73
CENIZAS	2,32	2,42	2,42	2,57	2,66
E.L.N.	73,36	66,74	70,39	66,89	55,86

Fuente: elaboración propia, empleando hoja de datos originales, apéndices.

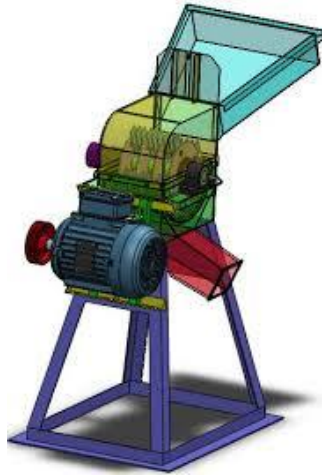
## ANEXOS

### Anexo 1. **Secador de bandejas**



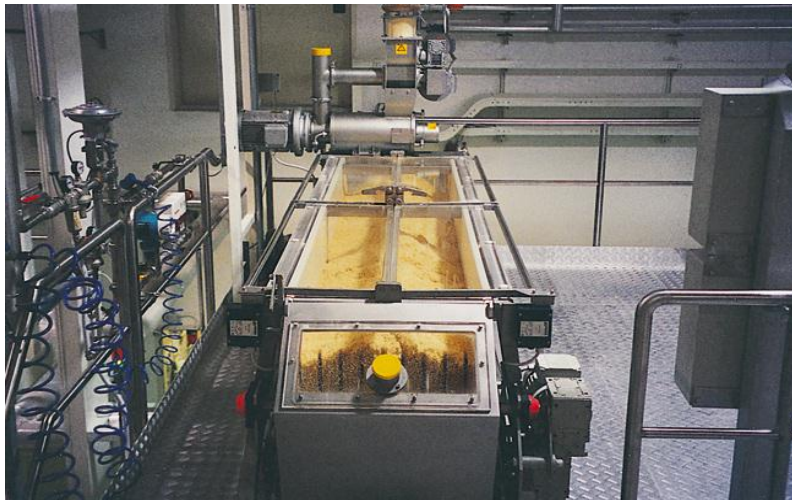
Fuente: *Secado de bandejas*. <http://www.industriaminera.cl/producto/aingetharm-ltda-hornos-industriales/>. Consulta: 20 de abril de 2018.

## Anexo 2. Molino de martillos



Fuente: *Molino de martillos*. ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8296/1/AC-ESPEL-EMI-0254.pdf>. Consulta: 20 de abril de 2018.

## Anexo 3. Amasador para masa de pasta



Fuente: *Amasador para masa de pasta*. <http://vanesakarolina.blogspot.com/>. Consulta: 20 de abril de 2018.



Anexo 3. Prueba bromatológica a las mezclas elaboradas con 0,3, 7,10 y 15 % de chan

Elaborado por: Aura Marina de Marroquín  
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

**FORMULARIO BROMATO 7**  
**INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS**

Solicitado por: **ANDREA VELÁSQUEZ** Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA** No. **337**  
Fecha de recibida la muestra: **06-06-2016** Fecha de realización: **DEL 13 AL 16-06-2016**

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA CRUDA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	P.H.	A.G.L.	TND
531	HARINA DE SEMILLA AMARANTO Y CEBADA TOSTADA 0%	SECA	7.65	92.35	4.64	2.88	16.80	2.32	73.36	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	4.29	2.86	15.52	2.14	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
532	HARINA AMARANTO, CEBADA, CHAN 3%	SECA	9.17	90.83	6.29	7.36	17.19	2.42	66.74	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	5.71	6.68	15.62	2.20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
533	HARINA AMARANTO, CEBADA, CHAN 7%	SECA	6.51	93.39	6.53	4.06	16.61	2.42	70.39	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	6.09	3.79	15.51	2.28	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
534	HARINA DE CEBADA AMARANTO, CHAN 10%	SECA	8.92	91.08	7.52	5.29	17.74	2.57	66.69	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	6.85	4.62	16.16	2.34	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA 4

OBSERVACIONES:  
Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

T. L. Hans A. Moya R. Laboratorista  
Resultados 2016/337  
16/06/16  
Lic. Miguel Ángel Rodenas  
Jefe Laboratorio de Bromatología

Elaborado por: Aura Marina de Marroquín  
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

**FORMULARIO BROMATO 7**  
**INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS**

Solicitado por: **ANDREA VELÁSQUEZ** Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA** No. **338**  
Fecha de recibida la muestra: **06-06-2016** Fecha de realización: **DEL 13 AL 16-06-2016**

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA CRUDA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	P.H.	A.G.L.	TND
535	HARINA DE CEBADA AMARANTO CHAN AL 15%	SECA	8.08	91.92	9.09	7.56	18.37	2.68	62.30	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	8.36	6.95	16.89	2.46	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
536	HARINA DE CEBADA AMARANTO CRUDO 0%	SECA	5.42	94.58	4.60	3.02	16.71	2.32	73.36	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	4.35	2.85	15.81	2.19	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
537	HARINA DE SEMILLA AMARANTO CEBADA CHAN 7%	SECA	6.38	93.62	6.40	8.72	17.05	2.46	65.36	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	5.99	8.16	15.96	2.32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
538	HARINA DE CEBADA AMARANTO CHAN 15%	SECA	7.45	92.55	9.08	14.67	17.73	2.66	55.85	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	8.40	13.58	16.41	2.46	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA 4

OBSERVACIONES:  
Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

T. L. Hans A. Moya R. Laboratorista  
Resultados 2016/338  
16/06/16  
Lic. Miguel Ángel Rodenas  
Jefe Laboratorio de Bromatología

Fuente: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Laboratorio de Bromatología. Universidad de San Carlos de Guatemala.

