



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MEXICO**  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

---

---

**“Desarrollo de un pan de muerto con  
harina de amaranto”**

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA

**ARLY BARRERA REYES**

ASESOR:

**DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE**

COASESORA:

**I.A VERÓNICA JIMÉNEZ VERA**

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN



ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO  
Jefa del Departamento de Titulación  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

**Desarrollo de un pan de muerto con harina de amaranto.**

Que presenta la pasante: **Arly Barrera Reyes**

Con número de cuenta: **313239348** para obtener el título de: **Ingeniera en Alimentos.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Mayo de 2023.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
<b>VOCAL</b>	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
<b>SECRETARIO</b>	Dr. Enrique Martínez Manrique	
<b>1er. SUPLENTE</b>	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	
<b>2do. SUPLENTE</b>	I.A. Verónica Romero Arreola	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

MCVB/cga\*

# Agradecimientos

Esta tesis se realizó con el apoyo del proyecto DGAPA-PAPIME 200522 "Mejoramiento de la enseñanza teórico-práctica mediante un aula y laboratorio virtuales en el Taller Multidisciplinario de Procesos Tecnológicos de Cereales de la carrera de Ingeniería en alimentos de FESC-Cuautitlán" Se agradece el apoyo del programa de cátedras de investigación "Cambios moleculares generados durante el almacenamiento de granos no convencionales en la elaboración de alimentos procesados" con clave CI 2253 de la FESC-Cuautitlán de la UNAM.

# Agradecimientos

♥ Le agradezco a la vida por permitirme llegar hasta este punto, por guiarme con sabiduría, por cada lección que sin duda me ha permitido seguir aprendiendo.

♥ A la Universidad Nacional Autónoma de México por convertirse en mi segunda casa, por brindarme las herramientas necesarias para crecer de manera profesional e intelectual, es un honor ser parte de esta hermosa institución.

♥ A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por ser la institución que me vio crecer estos últimos años, por permitirme lograr este sueño y por ser la participe de esta maravillosa experiencia.

♥ A mi asesor el Dr. Enrique Martínez Manrique por brindarme la oportunidad de trabajar en el laboratorio, por su confianza y apoyo en todo momento. Por compartirme su vasto conocimiento y por haberme guiado al realizar este proyecto infinitas gracias. Se que a pesar de que lo hacemos enojar nos va a extrañar.

♥ A mi co-asesora la Ingeniera en Alimentos Verónica Jiménez Vera porque sin ella nada de esto sería posible, le agradezco por su apoyo, comprensión, su confianza y sobre todo por ser una de las mejores profesoras. Infinitas gracias por su paciencia. La quiero mucho, definitivamente la voy a extrañar.

♥ A mis Sinodales les agradezco por tomarse el tiempo de guiarme para poder lograr un mejor proyecto. Y por ser quienes se dedican día con día a transmitir su conocimiento a toda la comunidad, gracias.

♥ A mis padres Bertha Reyes Bautista y Rafael Barrera García, por toda esa vida de esfuerzos y sacrificios, por brindarme las herramientas para poder salir adelante, finalmente les puedo decir que lo logramos. Este logro más que mío es de ustedes. Los amo mucho.

♥ A mi mami, por toda la paciencia y dedicación que tuviste siempre conmigo, por ser la mejor mamá, por nunca dejarme sola y por toda esa vida de esfuerzos, mil gracias mamita.

♥ A mi hermosa Sarah, gracias por ser esa persona que día con día me motiva, por sacarme una sonrisa, por llegar cuando más te necesitaba. Gracias por llegar y cambiar mi mundo, por ser mi gran cómplice. Sin ti nada de esto sería realidad. Te amo mucho.

♥ A mi compañero de vida Ismael Ortega, por estar conmigo en todo este proceso, por brindarme su apoyo incondicional, su amor y sobre todo su confianza. No tengo palabras para agradecerte por todo lo que has hecho por mí. Gracias por impulsarme a ser una mejor persona día con día. Te amo mucho. Finalmente lo logramos.

♥ A mi hermana Libby Barrera, por ser una gran cómplice, una gran amiga y sobre todo por siempre estar ahí apoyándome. Siempre siendo mi ejemplo para seguir, Te amo mucho hermanita.

♥ A Concepción Johnson Sánchez por confiar en mí, por apoyarme en estos últimos años. No tengo palabras para agradecerle todo el apoyo y el cariño que me ha brindado. La quiero mucho.

♥ A mi Blacky por ser mi compañero fiel en este último año, por acompañarme en los días de estudio, por escucharme al practicar, por ser mi primer espectador y sobre todo por estar ahí en los días de estrés y dejarse apapachar. Y sobre todo por robarme mi silla cuando necesitaba estudiar y por morder mis guías de estudio, sin duda un mejor amigo no pude encontrar. 🐾🐾

♥ A mis compañeras de laboratorio Ana, Sahian, Bet-el, Liz y Maribel porque sin su ayuda y sin su apoyo nada de esto sería posible, por esa gran complicidad, por esas largas charlas, por todos esos maravillosos momentos que pasamos juntas, sin duda en ustedes encontré a unas grandes amigas, las voy a extrañar mucho. Se logro chicas.

♥ A Omar, Israel, Adrián y Francisco que son esos grandes amigos que estuvieron desde el inicio de esta aventura, por estar a mi lado, por esas grandes experiencias, por todos esos días de sufrimiento que pasamos juntos, sin duda fue un honor coincidir en esta vida con ustedes.

♥ Finalmente le agradezco a mi familia, amigos y profesores que fueron parte de esta gran aventura, que me han ayudado a crecer, por todos sus consejos, por su apoyo infinito y sus enseñanzas, sin duda alguna fueron parte fundamental para que llegara hasta este momento, espero que este logro lo sientan como suyo.

*"Y nunca olvides que todo en esta vida es tan solo un adorno, lo importante es saber que existió quien te amo y a quien amaste."*

Con amor, cariño y respeto Arly Barrera Reyes. ♥

**Por mi raza hablara el espíritu.**

<b>Índice</b>	
<b>1</b>	<b>Antecedentes..... 3</b>
1.1	Trigo..... 3
1.1.1	Historia. .... 3
1.1.2	Morfología del trigo..... 4
1.1.3	Variedades de trigo..... 7
1.1.4	Producción del trigo. .... 7
1.1.5	Composición química y valor nutrimental..... 9
1.2	Harina de trigo. .... 9
1.2.1	Harina de trigo como alimento. .... 10
1.2.2	Proceso de elaboración de la harina de trigo..... 11
1.3	Panificación..... 12
1.3.1	Origen del pan. .... 12
1.3.2	Consumo de productos de panificación en México. .... 12
1.3.3	El pan de dulce..... 13
1.4	Pan de muerto. .... 14
1.4.1	Origen..... 14
1.4.2	Significado del pan de muerto. .... 15
1.4.3	Tipos de pan de muerto..... 16
1.4.4	Consumidores de pan de muerto..... 17
1.4.5	Calidad nutrimental del pan de muerto. .... 18
1.5	Alimento funcional..... 19
1.6	Pseudocereales. .... 19
1.7	Amaranto. .... 20
1.7.1	Origen..... 20
1.7.2	Morfología. .... 21
1.7.3	Producción del Amaranto en México. .... 26
1.7.4	Composición química del amaranto..... 27
<b>2</b>	<b>Desarrollo Experimental. .... 29</b>
2.1	Objetivos..... 29
<b>3</b>	<b>Cuadro metodológico..... 30</b>
<b>4</b>	<b>Materiales y métodos..... 31</b>
4.1	Material biológico. .... 31



4.1.1	Preparación de la muestra.....	31
4.2	Análisis Químico Proximal.....	32
4.2.1	Determinación de humedad (Método AOAC 925.09).....	32
4.2.2	Determinación de grasa.....	33
4.2.3	Determinación de Proteínas. ....	35
4.2.4	Determinación de cenizas.....	36
4.2.5	Determinación de fibra.....	38
4.2.6	Determinación de carbohidratos. ....	39
4.3	Elaboración de pan de muerto con harina integral de amaranto. ....	40
4.3.1	Método para la elaboración de pan de muerto.....	40
4.3.2	Descripción del diagrama de proceso.....	42
4.4	Pruebas de calidad física del pan de muerto.....	48
4.4.1	Volumen. ....	48
4.5	Evaluación sensorial. ....	49
4.5.1	Prueba de preferencia. ....	49
4.6	Evaluación de la calidad nutricional. ....	49
4.6.1	Determinación de triptófano (cuantificación). ....	49
4.6.2	Determinación de Almidón total. ....	50
4.6.3	Determinación de Almidón digerible. ....	52
4.6.4	Digestibilidad <i>in vitro</i> .....	52
4.6.5	Digestibilidad <i>in vivo</i> . ....	53
4.6.6	Relación de eficiencia proteica. ....	54
4.7	Evaluación de la calidad funcional. ....	55
4.7.1	Capacidad antioxidante. ....	56
4.7.2	Determinación de Fenoles. ....	57
4.7.3	Fibra dietética. ....	59
4.7.4	Almidón resistente. ....	60
4.8	Factores antinutricionales. ....	62
4.9	Prueba de nivel de agrado. ....	66
4.10	Análisis estadístico.....	66
<b>5</b>	<b>Resultados y Análisis de resultados.....</b>	<b>67</b>
5.1	Análisis químico proximal de la materia prima.....	67

5.2	Análisis nutrimental de la materia prima.....	68
5.3	Análisis funcional de la materia prima. ....	69
5.1	Resultados de Factores anti-nutrimientales. ....	70
5.2	Elaboración de pan de muerto. ....	71
5.3	Pruebas de calidad física. ....	72
5.3.1	Volumen. ....	72
5.4	Prueba sensorial de preferencia.....	72
5.5	Análisis químico proximal del pan de muerto control y seleccionado. ....	73
5.6	Análisis de la calidad nutrimental del pan de muerto control y la formulación seleccionada. ....	75
5.7	Relación de Eficiencia Proteica (PER) y Digestibilidad in vivo.....	76
5.8	Análisis de la calidad funcional del pan de muerto control y la formulación seleccionada.....	77
5.9	Factores anti-nutrimientales. ....	78
5.10	Prueba sensorial de nivel de agrado. ....	79
<b>6</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>81</b>
<b>9</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>98</b>

## Índice de figuras.

<b>Figura 1.</b> Trigo del antiguo egipcio. ....	3
<b>Figura 2.</b> Conjunto de raíces del trigo. ....	4
<b>Figura 3.</b> Tallos de trigo. ....	4
<b>Figura 4.</b> Hojas de trigo. ....	5
<b>Figura 5.</b> Espiga del trigo. ....	5
<b>Figura 6.</b> Partes del grano del trigo. ....	6
<b>Figura 7.</b> Campo de trigo. ....	7
<b>Figura 8.</b> Estados productores de trigo en México en 2020. ....	8
<b>Figura 9.</b> Principales usos de la harina de trigo. ....	10
<b>Figura 10.</b> Elaboración de pan en el antiguo Egipto. ....	12
<b>Figura 11.</b> Panaderías en México. ....	13
<b>Figura 12.</b> Variedades de pan de dulce en México. ....	13
<b>Figura 13</b> Pan de muerto. ....	14
<b>Figura 14.</b> Simbolismo del pan de muerto. ....	15
<b>Figura 15.</b> Variedades de pan de muerto en México. ....	16
<b>Figura 16.</b> Porcentaje de consumidores de pan de muerto en México en 2019 y 2020. ....	17
<b>Figura 17.</b> Información nutricional del pan de muerto. ....	18
<b>Figura 18.</b> Alimentos funcionales. ....	19
<b>Figura 19.</b> Pseudocereales. ....	20
<b>Figura 20.</b> Amaranto en civilizaciones Mesoamericanas. ....	20
<b>Figura 21.</b> Amaranto. ....	21
<b>Figura 22.</b> Planta de Amaranto. ....	22
<b>Figura 23.</b> Conjunto de raíces de Amaranto. ....	23
<b>Figura 24.</b> Tallos de planta de Amaranto. ....	23
<b>Figura 25.</b> Inflorescencia de la planta de Amaranto. ....	24
<b>Figura 26.</b> Partes del grano del Amaranto. ....	25
<b>Figura 27.</b> Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa de Amaranto. ....	26
<b>Figura 28.</b> Harina de trigo marca tres estrellas®. ....	31
<b>Figura 29.</b> Tamiz malla # 40 serie USA. ....	31
<b>Figura 30.</b> Estufa marca Harsa. ....	33

<b>Figura 31.</b> Equipo Soxhlet para determinación de grasa. ....	34
<b>Figura 32.</b> Equipo para determinar proteínas a) Digestión y b) Destilador. ....	36
<b>Figura 33.</b> Determinación de cenizas a) Incineración directa y b) Mufla. ....	37
<b>Figura 34.</b> Determinación de fibra cruda. ....	39
<b>Figura 35.</b> Diagrama de proceso para la elaboración de pan de muerto. ....	41
<b>Figura 36.</b> Balanza digital. ....	42
<b>Figura 37.</b> Fermentación esponja. ....	42
<b>Figura 38.</b> Batidora marca Hamilton Beach Professional. ....	43
<b>Figura 39.</b> Amasado manual. ....	43
<b>Figura 40.</b> Primera etapa de fermentación. ....	44
<b>Figura 41.</b> Formado de pan de muerto. ....	44
<b>Figura 42.</b> Fermentación del pan formado. ....	45
<b>Figura 43.</b> Horno marca The Robot Cool. ....	45
<b>Figura 44.</b> Pan de muerto decorado. ....	46
<b>Figura 45.</b> Pan de muerto empaquetado. ....	46
<b>Figura 46.</b> Medidor de volumen para pan. ....	48
<b>Figura 47.</b> Determinación de triptófano. ....	50
<b>Figura 48.</b> Muestras en celdas para determinación de Almidón total. ....	51
<b>Figura 49.</b> Determinación de Digestibilidad <i>in vitro</i> . ....	53
<b>Figura 50.</b> Rack para ratas Wistar. ....	54
<b>Figura 51.</b> a) El DPPH(2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), b) Determinación de capacidad antioxidante. ....	57
<b>Figura 52.</b> Determinación de fenoles. ....	58
<b>Figura 53.</b> a) Matraces con muestra y en un baño a 60 °C, b) Filtración para determinación de fibra dietética. ....	60
<b>Figura 54.</b> Almidón Resistente. ....	61
<b>Figura 55.</b> Determinación de Acido Fítico. ....	63
<b>Figura 56.</b> Lectura de absorbancia de determinación de Taninos. ....	64
<b>Figura 57.</b> Lectura de inhibidores de tripsina. ....	65
<b>Figura 58.</b> Pan de muerto con amaranto. ....	79

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Composición química del grano de trigo. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Porcentaje de los principales componentes de la harina de trigo .....	10
<b>Tabla 3.</b> Composición química del grano de Amaranto hypochondriacus. ....	27
<b>Tabla 4.</b> Composición de aminoácidos esenciales de semillas de amaranto en (g/100g de proteína).....	28
<b>Tabla 5.</b> Formulación para la elaboración del pan de muerto control. ....	40
<b>Tabla 6.</b> Formulaciones propuestas para elaborar pan de muerto con harina de trigo y harina de amaranto. ....	47
<b>Tabla 7.</b> Formulaciones propuestas para elaborar pan de muerto con harina de trigo y de amaranto, agregando gluten vital. ....	47
<b>Tabla 8.</b> Análisis químico proximal de la harina de trigo y harina de amaranto. ...	67
<b>Tabla 9.</b> Análisis nutrimental de la harina de trigo y harina de amaranto. ....	68
<b>Tabla 10.</b> Análisis funcional de la harina de trigo y harina de amaranto.....	69
<b>Tabla 11.</b> Factores anti-nutrimientales de la harina de trigo y harina de amaranto.....	70
<b>Tabla 12.</b> Diferentes formulaciones propuestas para elaboración de pan de muerto.....	71
<b>Tabla 13.</b> Resultados de volumen a los panes de muerto elaborados con las tres diferentes formulaciones. ....	72
<b>Tabla 14</b> Resultados de evaluación sensorial de preferencia a los panes de muerto elaborados con las tres diferentes formulaciones.....	72
<b>Tabla 15.</b> Resultados del análisis químico proximal de pan de muerto control y pan de muerto seleccionado .....	73
<b>Tabla 16.</b> Análisis nutrimental del pan de muerto control y seleccionado.....	75
<b>Tabla 17.</b> Relación de Eficiencia Proteica (PER), PER ajustado y Digestibilidad <i>in vivo</i> del pan de muerto control y pan de muerto seleccionado. ....	76
<b>Tabla 18.</b> Análisis funcional del pan de muerto control y seleccionado. ....	77
<b>Tabla 19.</b> Factores anti-nutrimientales del pan de muerto control y seleccionado. ....	78
<b>Tabla 20.</b> Calificación y nivel de aceptación. ....	79

## Resumen.

En México los productos de panificación son de los alimentos más consumidos por la población, entre ellos se encuentra el pan de dulce, y uno de los favoritos es el pan de muerto. El pan de muerto también conocido en la antigüedad como huitlatamalli, es uno de los panes dulce tradicionales de México más consumido durante las fechas cercanas al día de muertos o también llamado día de todos los santos. La mayoría de los productos de panificación se producen a partir de harina de trigo refinada la cual tiene un escaso valor nutritivo, pues su aporte principal es calórico, siendo un factor para el aumento de peso y obesidad de los consumidores. En los últimos años se ha propuesto mejorar el valor nutrimental del pan elaborado con trigo haciendo uso de otros ingredientes nutritivos como los pseudocereales. El amaranto es un pseudocereal considerado de alto valor nutritivo, debido a su alto contenido de proteínas, lípidos, fibra y minerales. Es por ello que el objetivo de este proyecto fue el desarrollo de un pan de muerto con alta calidad nutrimental mediante el uso de harina integral de amaranto. Se evaluaron 3 formulaciones con diferentes porcentajes de harina integral de amaranto (50,70 y 90 %) y trigo, y se seleccionó la mejor mediante una prueba sensorial de preferencia. A la formulación seleccionada se le realizó un análisis químico proximal, un análisis nutrimental (triptófano, digestibilidad *in vitro*, almidón digerible y total), así como también un análisis antinutrimental (taninos, ácido fítico, inhibidores de tripsina), y un análisis funcional (almidón resistente, fibra dietética, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante) y por último se realizó una prueba sensorial de nivel de agrado. Los resultados obtenidos mostraron que la formulación con 70 % harina de amaranto, 20 % harina de trigo y 10 % gluten fue la seleccionada, la cual presentó mayor contenido de proteínas, cenizas y fibra que el pan de muerto control; además de una mejor digestibilidad *in vitro* y menor contenido de almidón digerible; también tuvo una mayor capacidad antioxidante, y contenido de fenoles y fibra dietética. Finalmente, el pan de muerto seleccionado obtuvo un 69 % de aceptación y una calificación de 7.34 en la prueba sensorial de nivel de agrado. Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que la harina de amaranto logró complementar a la harina de trigo y por lo tanto se obtuvo un producto con mayor calidad nutrimental y funcional.

## Introducción.

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cereal más cultivado en el mundo y se destaca a nivel mundial entre los cereales por su importancia como alimento (Flores *et al.*, 2021). Del trigo se obtiene harina como producto principal; salvado y germen como subproductos. La harina se utiliza para la elaboración de una gran variedad de productos de panificación como: pan, pan de caja, bollos, galletas, pastas, pan dulce y otros productos (Chaquilla, 2018).

El pan es el símbolo de los alimentos. Es el primero que se transformó a partir de cereales, es el alimento esencial de casi todas las culturas y es la referencia ritual de muchas religiones. Fue una elaboración tradicional de los núcleos familiares y más adelante, fue objeto de uno de los primeros establecimientos comerciales. Ha evolucionado, porque comenzó siendo el resultado de la cocción, en medio acuoso, de una masa hecha con cereales sólo machacados a ser lo que hoy conocemos, con sus diferentes variedades y estilos (Díaz, 2011).

México se encuentra entre los países con una mayor variedad de pan en el mundo (cerca de 2,000 variedades dulces y 300 saladas). Actualmente el consumo de éste es de 33.5 kg anuales per cápita, de los cuales entre 70-75 % es pan blanco y el resto es pan dulce, galletas y pasteles (Calvo *et al.*, 2021).

En la población mexicana, algunos de los factores de riesgo asociados con el sobrepeso y la obesidad son el consumo excesivo de harinas refinadas, acompañadas de alimentos ricos en calorías y grasas, además del sedentarismo, como sabemos los productos de panificación son elaborados principalmente con harina refinada de trigo (Morales *et al.*, 2018).

Una de las recomendaciones para prevenir la obesidad y sobrepeso es incrementar el consumo de granos enteros de cereales y otros granos altos en fibra, los cuales se han asociado a un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, ciertos tipos de cáncer y salud digestiva (Barquera *et al.*, 2013).

Es por ello que en los últimos años se han buscado alternativas para sustituir parcialmente a la harina de trigo por otro tipo de granos, como lo pseudocereales, con el fin de aumentar la calidad nutrimental de los productos derivados del trigo como son los productos de panificación. Entre las alternativas se encuentra el grano de amaranto, que es un pseudocereal que contiene macronutrientes importantes para la dieta como los carbohidratos, ácidos grasos como el ácido linoleico, el ácido  $\alpha$ -linolénico y ácido oleico, que disminuyen los niveles de LDL-Colesterol y de estrés oxidativo, también proteínas con aminoácidos esenciales y fibra, además de

minerales, vitaminas y otros componentes que le otorgan un alto valor nutrimental (Trino *et al.*, 2017).

Con base en lo anterior el objetivo del presente trabajo es elaborar un pan de muerto tradicional mejorando su calidad nutrimental haciendo uso de harina integral de amaranto para complementar la harina de trigo y que conserve sus propiedades físicas y sensoriales. Para llevar a cabo el presente trabajo se propondrán diferentes formulaciones variando los porcentajes de harinas de trigo y amaranto para seleccionar la mejor mediante una prueba sensorial de preferencia, la formulación seleccionada se evaluará químicamente (análisis químico proximal), su calidad nutrimental (cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro*, almidón total, almidón digerible), se realizara un análisis antinutrimental (taninos, ácido fítico y inhibidores de tripsina), su calidad funcional (fenoles, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética), y por último se le realizará una prueba sensorial de nivel de agrado.



## 1 Antecedentes.

### 1.1 Trigo.

#### 1.1.1 Historia.

El trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Evidencias científicas, nos muestran que, en sus orígenes el trigo era silvestre y creció primero en Mesopotamia entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates y de ahí se extendió a toda la región conocida como Creciente Fértil que comprende desde Palestina, (en la zona de Jericó); el sur de Turquía, hasta la propia Mesopotamia y el Golfo Pérsico (Ramos, 2013).

Hace alrededor de 8 milenios una mutación o una hibridación ocurrió en el trigo silvestre, dando por resultado una planta con semillas más grandes, la cual no podría haberse diseminado con el viento. Existen hallazgos de restos carbonizados de granos de trigo almidonero (*Triticum dicocoides*) y huellas de granos en barro cocido en Jarmo (Iraq septentrional), que datan del año 6700 a. C. (SAGARPA, 2012).

El trigo es una planta no perenne que pertenece a la familia de las gramíneas, que produce un conjunto de frutos modificado que se fusionan con su sola semilla, en una espiga terminal y puede ser silvestre o cultivada. Aunque su origen se da en la antigua Mesopotamia, los egipcios (**Figura 1**), fueron quienes, a partir de la revolución neolítica en Oriente Próximo, comenzaron a cultivar el trigo convirtiéndose en uno de los alimentos básicos. A partir del trigo y de sus granos molidos se obtiene la harina y con ella se elaboran la mayor parte de alimentos (CIBIOGEM, 2019).



**Figura 1.** Trigo del antiguo egipcio.

**Fuente:** Francie Diep, 2017.

### 1.1.2 Morfología del trigo.

- **Raíces.**

La planta del trigo posee dos conjuntos de raíces (**Figura 2**), las seminales que pertenecen al embrión o son producidas por raíces adventicias (corona), que se originan posteriormente a partir de los nudos basales de las plantas y se transforman en el sistema radicular permanente (Moreno *et al.*, 2001).

Contiene una raíz fasciculada o raíz en cabellera, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad (SAGARPA, 2012).



**Figura 2.** Conjunto de raíces del trigo.

**Fuente:** Manual del cultivo de trigo, 2017.

- **Tallo.**

Como en toda planta de la familia de las gramíneas, el tallo (**Figura 3**) es una caña formada de nudos y entrenudos. El nudo es una porción maciza y pequeña donde se encuentran las yemas que dan origen a las hojas, así como también a los macollos. Cuenta con 6 nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0.5 a 2 metros de altura, es poco ramificado (Moreno *et al.*, 2001).



**Figura 3.** Tallos de trigo.

**Fuente:** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2016.

- **Hojas.**

Las hojas (**Figura 4**) están dispuestas sobre el tallo alternamente en dos hileras verticales opuestas, cada una de las hojas tiene una divergencia de 180° de la siguiente; las hojas de las gramíneas constan de las siguientes partes: vaina, lámina, lígula y un par de aurículas en la base de la lámina (7, 9, 11, 12) (Moreno *et al.*, 2001).



**Figura 4.** Hojas de trigo.

**Fuente:** Bangladesh Agricultural Research Council, 2020.

- **La inflorescencia.**

Es una espiga (**Figura 5**), compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores, la mayoría de las cuales abortan, rodeadas por glumas, glumillas o glumelas, lodículos o glomélulas (SAGARPA, 2012).



**Figura 5.** Espiga del trigo.

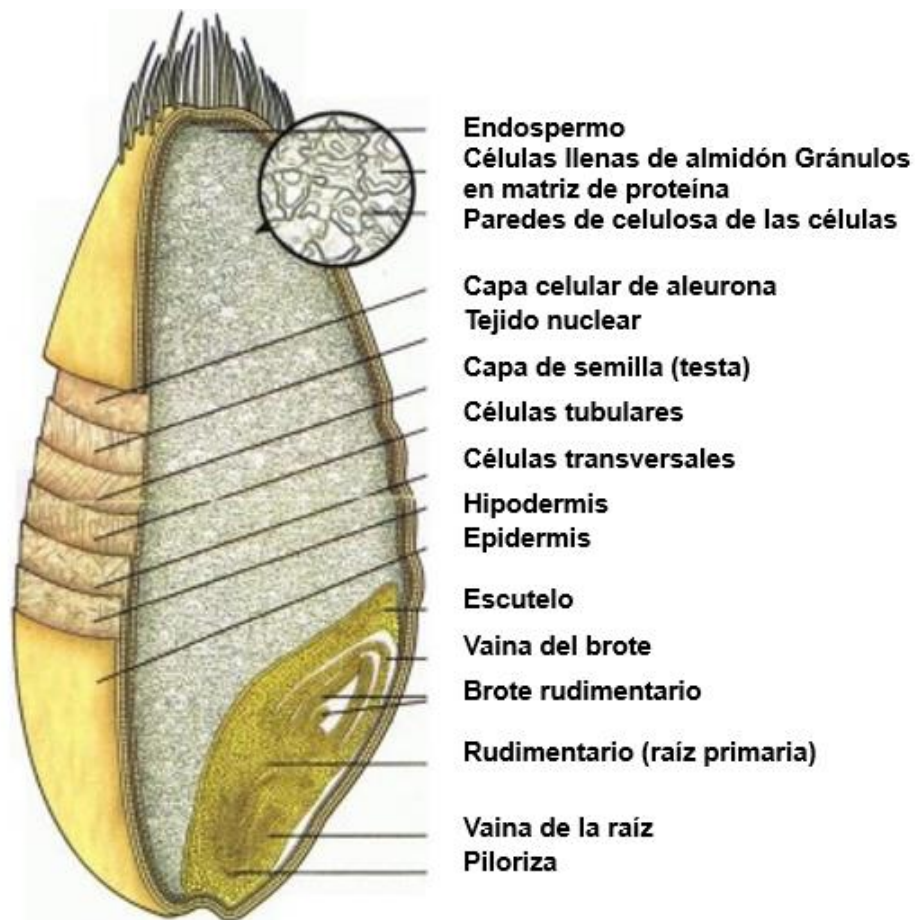
**Fuente:** Maciejewska, 2022.

- **Granos.**

Los granos (**Figura 6**), son carióspsides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados.

El germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82 % del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco), una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo.

El grano de trigo contiene una parte de la proteína que se llama gluten. El gluten facilita la elaboración de levaduras de alta calidad, que son necesarias en la panificación (SAGARPA, 2012).



**Figura 6.** Partes del grano del trigo.

**Fuente:** Hinojosa, 2017.

### 1.1.3 Variedades de trigo.

El trigo (**Figura 7**), pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), es un fruto de una sola semilla denominada monocotiledóneas, llamadas así por contener un solo cotiledón (CIBIOGEM, 2019).

El género *Triticum* comprende alrededor de 30 tipos de trigo, con suficientes diferencias genéticas para ser consideradas especies distintas o subespecies. De ellas, solamente se reconocido 16 especies y el resto son silvestres, pero dentro de los cultivados solo dos lo están en gran escala mundialmente. El trigo harinero y el trigo cristalino o duro son los tipos comerciales: el *Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* respectivamente. El harinero (*Triticum aestivum*) cubre cerca de 90 % del área total sembrada con trigo mundialmente, mientras que el duro (*T. durum*) llamado también cristalino, cubre cerca de 9 % total del área triguera mundial, pero solamente aporta el 5 % de la producción mundial; para el resto de la producción hay especies del trigo de menor importancia, de las cuales el trigo ramificado (*T. compactum*) es el más importante (Moreno 2001).



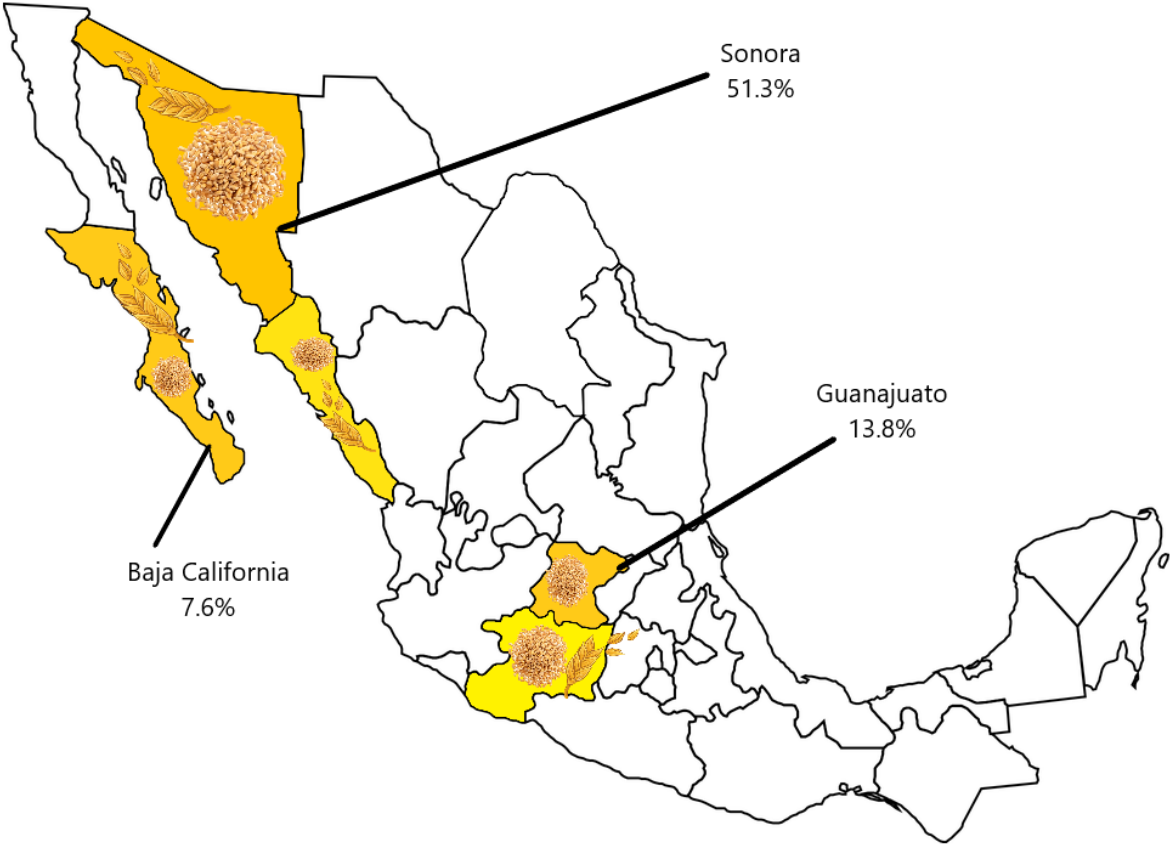
**Figura 7.** Campo de trigo.

**Fuente:** González, 2022.

### 1.1.4 Producción del trigo.

El trigo es el cereal más cultivado alrededor del mundo en poco más del 17 % de tierra cultivada. Este alimento es básico para más del 35 % de la población total del planeta. Aporta más calorías a la dieta mundial que ninguna otra cosecha y es el segundo cereal más importante en la dieta de los mexicanos, que consumen en promedio 57.4 kg per cápita al año. (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios, 2018).

De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo (CANIMOLT), la industria del trigo sufrió graves consecuencias por los efectos de la pandemia por COVID-19. El cultivo del grano de trigo ocupó la octava posición tanto por superficie cosechada y por volumen de producción entre los cultivos cíclicos y perennes en México en el año agrícola 2022, con una participación de 3.1 y 3.3 por ciento, respectivamente. Con respecto al valor de la producción agrícola nacional, el trigo participó con 2.3 por ciento del total nacional. En el año agrícola 2020 (**Figura 8**) produjeron 3.0 millones de toneladas, el 87.0 por ciento de la producción nacional de trigo se concentró en cinco entidades: Sonora (51.3 por ciento), Guanajuato (13.8 por ciento), Baja California (7.6 por ciento), Sinaloa (8.0 por ciento) y Michoacán (6.3 por ciento), (FIRA, 2021).



**Figura 8.** Estados productores de trigo en México en 2020.  
**Fuente:** Panorama Agroalimentario, 2020.

### 1.1.5 Composición química y valor nutrimental.

El trigo es perfectamente comparable con otros cereales por su contenido de nutrientes. Los valores proporcionales de estos compuestos tienen bastantes diferencias entre unos trigos y otros y no se encuentra una composición exacta debido a la gran cantidad de variedades de trigos (Calaveras, 2004), sin embargo, se muestra a continuación una composición química aproximada en la **Tabla 1**:

**Tabla 1.** Composición química del grano de trigo.

Componentes	Cantidad (%)
Carbohidratos	70
Proteínas	8
Humedad	12
Lípidos	6
Cenizas	2
Fibra	2

Fuente: Ballat, 2014.

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano.

Aproximadamente la mitad de los lípidos totales se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona (Paredes, 2013).

### 1.2 Harina de trigo.

De acuerdo con la NOM-247-SSA1-2008, se denomina harina de trigo a la obtenida de la molienda del trigo del grano maduro, entero, quebrado, y seco del género *Triticum*; de las especies *T. vulgare*, *T. compactum* y *T. durum* o mezclas de éstas, limpio, en el que se elimina gran parte del salvado y germen y finalmente el endospermo se tritura hasta obtener un grano de finura adecuada.

La harina de trigo es el principal ingrediente para la elaboración de pan, en la **Tabla 2**, se presentan los porcentajes de los principales componentes de la harina de trigo.

**Tabla 2.** Porcentaje de los principales componentes de la harina de trigo.

Componente	Porcentaje (%)
Almidón	70
Humedad	14
Proteínas	12
Polisacáridos	2
Lípidos	2

Fuente: Vega, 2009.

### 1.2.1 Harina de trigo como alimento.

El trigo, una vez transformado en harina, se puede utilizar principalmente para la fabricación de pan (**Figura 9**), galletas, pasteles, tortillas, pastas para sopas y otros productos. Uno de los elementos nutritivos más importantes es la proteína, en la misma se encuentra contenido el gluten, el cual facilita el proceso de elaboración de los productos de panificación. “El trigo de menor calidad se utiliza para la elaboración de bebidas alcohólicas y alimentación animal. Igualmente, los subproductos de la molienda (salvado, salvadillo, etc.) se utilizan como alimento forrajero o para la elaboración de otros alimentos humanos con alto contenido de fibras. El valor nutritivo del trigo y de los productos derivados de sus harinas siempre han sido una fuente importante de alimento para la humanidad, ya que aportan energía, proteína, vitaminas y minerales, muy necesarios para el crecimiento sano de la población (Ramos 2013).



**Figura 9.** Principales usos de la harina de trigo.

Fuente: BBM, 2014.



### 1.2.2 Proceso de elaboración de la harina de trigo.

La molienda implica la eliminación del salvado, es decir, el pericarpio, las cubiertas de la semilla, la epidermis nucelar y la capa de aleurona. Además, generalmente se elimina el germen por ser relativamente rico en aceite, lo cual provoca que el producto se enrancie más rápidamente disminuyendo así su calidad. La harina es el endospermo triturado finamente. Como resultado de la molienda el producto gana ante el paladar, pero pierde valor nutritivo. La molienda en sí misma no es un proceso que genere calidad, en el sentido que no puede mejorar ni agregar cualidades al trigo. El trigo ya limpio debe ser acondicionado antes de su molienda para mejorar el estado físico del grano y algunas veces aumentar la calidad panadera de la harina. La molienda de trigo consiste en un proceso de reducción gradual: el grano se rompe en las primeras etapas, seleccionándose distintas partes que, a su vez, se irán triturando en etapas posteriores. Consta de las siguientes fases: rotura, reducción, tamización y purificación de la harina. La rotura es la fragmentación del grano de forma que se consiga una disociación de cada una de las partes anatómicas. Se realiza con una pareja de rodillos estriados que giran en sentidos opuestos, donde el trigo es comprimido y cortado: el rodillo lento retiene el material mientras va siendo "rascado" por el rápido. En las primeras roturas se separan trozos más bien grandes y en las últimas, la acción es de "limpiar" el salvado. Las piezas grandes de salvado que llevan cantidades considerables de endospermo se envían a la rotura siguiente, las partículas de otros tamaños que contienen partículas de salvado pueden enviarse a los purificadores y después a los rodillos de reducción. Un purificador o sasar es un tamiz inclinado por el que circula una corriente de aire en sentido ascendente, haciendo que el producto se estratifique. Las partículas más livianas son eliminadas por el aire y los trozos de endospermo son enviados a los rodillos de reducción. Los rodillos de reducción suelen ser lisos con el objetivo de reducir las partículas medianas a la finura de la harina y eliminar las últimas partículas de salvado y germen que puedan quedar (Afrechillo). Cada juego de rodillos es seguido por un sistema de tamices donde se hace la separación de las partículas en diferentes fracciones según sus tamaños (Molfese *et al.*,2006).

El producto obtenido por el tamizado es: la sémola gruesa con 1110-525  $\mu\text{m}$ , la Sémola fina con 525-290  $\mu\text{m}$  y la Semolina con 290-150  $\mu\text{m}$ . Las partículas de tamaño inferior a 150 micras constituyen la harina y las partículas de tamaño superior a 1110 micras se denomina fractura gruesa (Puma, 2017).

### 1.3 Panificación.

#### 1.3.1 Origen del pan.

El pan constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años. Al principio era una pasta plana, no fermentada, elaborada con una masa de granos machacados groseramente y cocida, muy probablemente sobre piedras planas calientes. Parece que fue en Egipto (**Figura 10**), donde apareció el primer pan fermentado, cuando se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire y aumentaba su volumen, y que, añadida a la masa de harina nueva, daba un pan más ligero y de mejor gusto (Mesas *et al.*, 2009).



**Figura 10.** Elaboración de pan en el antiguo Egipto.

Fuente: Browne, 2020.

#### 1.3.2 Consumo de productos de panificación en México.

El trigo fue en efecto, uno de los nuevos productos introducidos por los españoles el mismo año de la conquista. Un par de años después se estableció el primer molino de trigo en el río Tacubaya, propiedad de Nuño de Guzmán. Ya en 1525 existían varias panaderías (**Figura 11**), en la ciudad de México sujetas a reglamentaciones sobre el peso y la venta del pan. Sabemos que entre los indios hubo una resistencia persistente a adoptar el cultivo del trigo, al menos eso se ha dicho hasta ahora sin comprobar lo contrario. A pesar de que incluso se les llegó a obligar a pagar tributo con ese cereal, la producción triguera a gran escala se desarrolló básicamente en haciendas propiedad de españoles. Su consumo, en forma de pan, se concentró desde muy temprano en los centros urbanos y también desde un principio constituyó una producción comercial, es decir prácticamente todo el pan consumido se obtenía en las panaderías. Durante el siglo XVIII y principios del XIX existieron un promedio de 48 panaderías en la ciudad, cuyos propietarios eran españoles. Para esas fechas el pan constituía un producto básico en la dieta

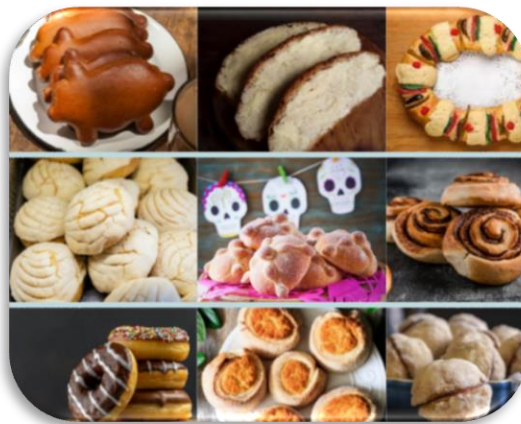
de la población y por ello las lo que las autoridades vigilaban su calidad (García, 2018).



**Figura 11.** Panaderías en México.  
**Fuente:** Xoconostle, 2017.

### 1.3.3 El pan de dulce.

El origen del pan dulce en México se remonta a unos años después de la conquista de los españoles, quienes introdujeron el pan de trigo y los primeros negocios de panaderías. Con el fin de hacer el pan de trigo un producto exitoso en el mercado, se vieron en la necesidad de evolucionarlo con un ingrediente extra: el azúcar. Después, la influencia francesa e italiana en el siglo XIX y la apertura de cafeterías fueron la base y la inspiración para crear nuevas variedades de pan dulce en México. Según la Cámara Nacional de la Industria Mexicana de la Panificación (CANAINPA) hoy en día existen alrededor de 1,200 variedades de pan dulce, donde los principales son (**Figura 12**): conchas donas, puerquitos, rebanada, picón, roles de canela, elote, ojo de buey, moño, beso y los de temporada pan de muerto y rosca de reyes; de estos dos panes de temporada el favorito es el pan de muerto (Velas, 2021).



**Figura 12.** Variedades de pan de dulce en México.  
**Fuente:** Modificado de Top 10 de pan dulce mexicano, 2021.

## 1.4 Pan de muerto.

### 1.4.1 Origen.

Este pan tiene una historia muy interesante y es esencial en la celebración del Día de Muertos. El pan tradicional de muerto es un verdadero placer y su origen se remonta a la época de la conquista, inspirado por rituales prehispánicos y hoy en día es uno de los componentes más importantes de las ofrendas dedicadas a los fieles Difuntos. El gusto por la elaboración de un pan especial para el caso se remonta a la época de los sacrificios humanos y a la llegada de los españoles a la entonces Nueva España, en 1519. Cuentan que era un ritual en el México de antes de la conquista que una princesa fuera ofrecida a los dioses, su corazón aun latiendo se introducía en una olla con amaranto y después quien encabezaba el rito mordía el corazón en señal de agradecimiento para ofrecerlo a Huehuetéotl (dios del fuego que ocupaba el centro del universo). Los españoles encontraron tan violenta esta práctica que sugirieron se preparara un pan de trigo cubierto de azúcar roja, que simulaba el corazón de las doncellas sin que tuvieran que perder la vida. Así surgió el pan de muerto como lo conocemos hoy en día (Muy interesante, 2021).

El pan de muerto (**Figura 13**) es un reflejo de la fusión entre dos culturas, la prehispánica y la española, entre la alegría de los pueblos mexicanos por festejar la muerte el tradicional uso del trigo en el mundo católico europeo.



**Figura 13** Pan de muerto.

**Fuente:** The Grace Museum del National Endowment for the Humanities, 2021.

### 1.4.2 Significado del pan de muerto.

El Pan de Muerto (**Figura 14**) se caracteriza por ser de forma circular, con lo que se representa el ciclo de la vida y la muerte, un pequeño círculo en la parte superior, simulando el cráneo, y cuatro figuras de masa en forma de 'hueso' , precisamente para representar a la muerte; sin embargo en otras partes del país se le atribuyen otros significados, ya sean 'lágrimas' , por la pérdida del ser querido; o los huesos cruzados, representando a los cuatro puntos cardinales y a los cuatro dioses prehispánicos (Quetzalcóatl, Tláloc, Xipe Tútec y Tezcatlipoca) (INPI 2019).



**Figura 14.** Simbolismo del pan de muerto.  
**Fuente:** Ramirez México Desconocido, 2015.

### 1.4.3 Tipos de pan de muerto.

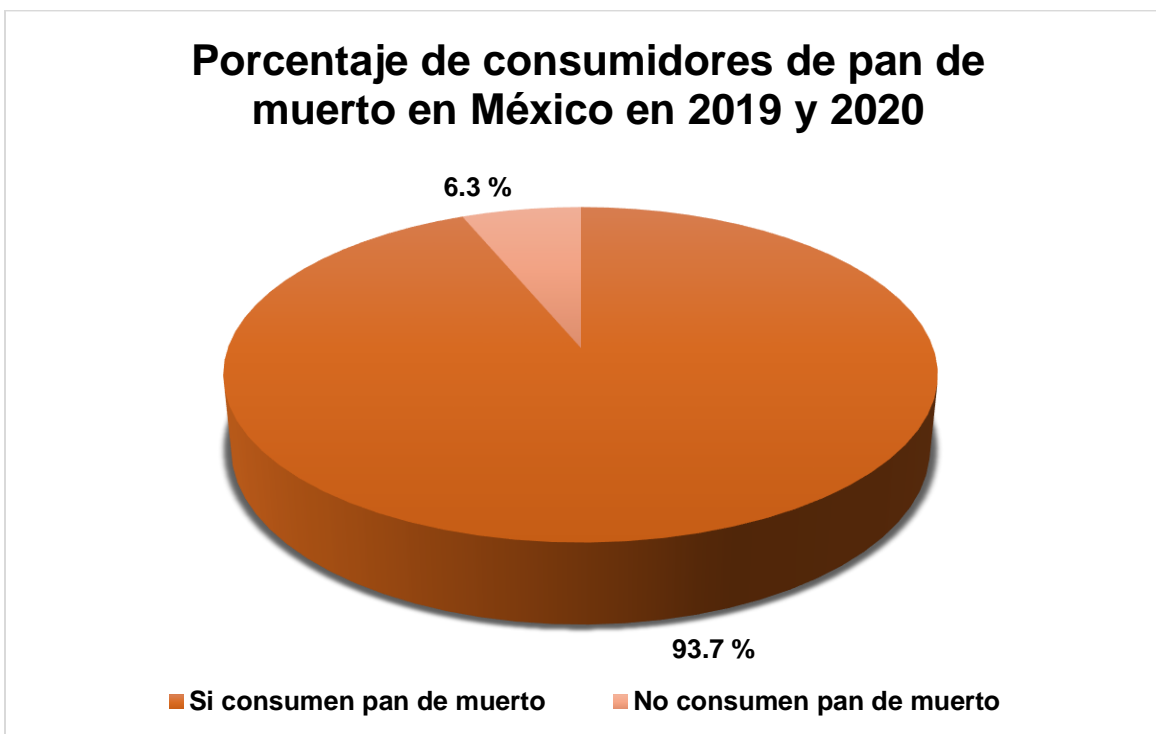
Existe un sinnúmero de variedades de pan de muerto en todo el país, su forma, tamaño y presentación depende del estado de la república en el que se elabore (**Figura 15**). Los hay solo barnizados con huevo y mantequilla, y el tradicional con azúcar, rayadura de naranja y un toque de azahar, el cual se dice, evoca al recuerdo de los difuntos. En Puebla, en lugar de azúcar es adornado con ajonjolí, Oaxaca pierde un poco su forma circular, se hace con pasta hojaldrada, e incluye un pequeño rostro, en recuerdo del ser querido, en el centro de México se quedaron con la tradición colonial de adornar el pan con azúcar de color rojo o rosa, en Michoacán se crean las llamadas almas o ánimas, el cual es un pan, literalmente en forma de cuerpo humano, En Guanajuato se crean piezas de pan en forma de plantas, hojas, flores y distintos tipos de animales, como perros, borregos o mariposas (INPI 2019).



**Figura 15.** Variedades de pan de muerto en México.  
**Fuente:** Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, 2019.

#### 1.4.4 Consumidores de pan de muerto.

El pan de muerto, un tipo de pan dulce tradicional de México es uno de los alimentos más demandados durante las fechas cercanas al Día de Muertos. Se realizó una encuesta (**Figura 16**), en un periodo de estudio del 22 de octubre del 2019 al 10 de marzo de 2020 con un total de 4000 encuestados dentro de un grupo de edad entre 18 años y más. Según una encuesta se obtuvo que casi el 94 % de los entrevistados afirmaron consumir pan de muerto. Sin embargo, un 6,3 % de los mexicanos encuestados declararon no seguir dicha tradición (Statista 2020).



**Figura 16.** Porcentaje de consumidores de pan de muerto en México en 2019 y 2020.

Fuente: Statista, 2021.

### 1.4.5 Calidad nutrimental del pan de muerto.

Las fiestas tradicionales mexicanas siempre se caracterizan por tener una gastronomía muy particular y en cada una de ellas, el mexicano rebasa por mucho la ingesta calórica diaria recomendada (**Figura 17**), se calcula que el pan de muerto proporciona aproximadamente 500 kcal a nuestra dieta y si nos basamos en que la dieta diaria se deben consumir 2000 kcal, el pan de muerto está representando el 25 % de kcal en nuestra dieta. Nutriólogos indican que, en promedio, el mexicano aumenta un kilogramo de peso al día en las festividades de día de muertos (Muy interesante, 2021). Tomando en cuenta que el pan de muerto aporta una cantidad considerable de grasas e hidratos de carbono y además que es elaborado con harina de trigo refinada la cual indican datos recientes, que se caracteriza por tener un bajo aporte nutrimental, en los últimos años se ha optado por la sustitución de la harina de trigo por otros granos como lo son los pseudocereales, en la elaboración de productos de panificación para mejorar la calidad nutrimental de los mismos.



**Figura 17.** Información nutricional del pan de muerto.

Fuente: IMSS, 2019.



## 1.5 Alimento funcional.

Se considera como tal a todo alimento que, además de su valor nutritivo contiene componentes activos que aportan algún efecto añadido y beneficioso para la salud y reducen el riesgo de contraer ciertas enfermedades. Desde el punto de vista práctico, esto quiere decir que los alimentos funcionales (**Figura 18**), pueden ser naturales, o bien aquellos a los que se ha añadido, incrementado su contenido o eliminado algún componente, o bien a lo que se ha modificado la naturaleza o biodisponibilidad de alguno de sus componentes. Las características de un alimento funcional son las siguientes:

- Deben presentarse en forma de alimentos de consumo cotidiano.
- Su consumo no produce efectos nocivos.
- Cuenta con propiedades nutritivas y beneficiosas para el organismo.
- Disminuye y/o previene el riesgo de contraer enfermedades, además de mejorar el estado de salud del individuo.
- Deben poder demostrarse sus efectos beneficiosos dentro de las cantidades que normalmente se consumen en la dieta (Beltrán, 2016).



**Figura 18.** Alimentos funcionales.  
Fuente: New Food, 2019.

## 1.6 Pseudocereales.

Los pseudocereales (**Figura 19**), son plantas de hoja ancha que se utilizan de la misma manera que los cereales. Su semilla puede molerse para convertirla en harina y utilizarla como tal. No contienen gluten y son aptos para la fabricación de pan o sucedáneos, pero que, a diferencia de éstos, son dicotiledóneas y todos pertenecen a los géneros *Amaranthus* y *Chenopodium*. Ejemplos de

pseudocereales son el amaranto, la quinoa y el alforfón o trigo sarraceno (por mencionar algunos). La calidad nutricional de estos granos se considera superior a la de los cereales, tales como el trigo, cebada o arroz (Sanz *et al.*, 2008).



**Figura 19.** Pseudocereales.

**Fuente:** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2017.

## 1.7 Amaranto.

### 1.7.1 Origen.

El amaranto (**Figura 20**), fue cultivado en América desde hace 5000 a 7000 años, fue un cultivo fundamental para las civilizaciones Mesoamericanas y Sudamericanas. Los aztecas lo conocían como “huautli” y lo ligaban con sus ritos religiosos. A la llegada de los españoles se le denominó amaranto que proviene del latín y significa “flor que nunca muere” (Hernández *et al.*, 1998).



**Figura 20.** Amaranto en civilizaciones Mesoamericanas.

**Fuente:** López, 2020.

En Mesoamérica el amaranto es uno de los cultivos más antiguos y constituyó una de las principales fuentes de alimentación junto con el maíz, el frijol, la calabaza y el chile. Las culturas prehispánicas utilizaron el amaranto tanto para consumo humano como para usos religiosos. Debido a ello, esta planta fue cultivada a gran escala bajo el sistema intensivo de chinampas que desarrollaron los Aztecas en la zona lacustre del Valle de México. El amaranto (**Figura 21**), tiene múltiples usos tanto en la alimentación humana y animal como en la industria, medicina y en la ornamentación. Para la alimentación humana se usa el grano entero o molido en forma de harinas, ya sea tostada, reventada o hervida, las hojas tiernas en reemplazo de las hortalizas de hoja, con los granos enteros o molidos se puede preparar desayunos, sopas, postres, papillas, tortas, budines, bebidas refrescantes y otros (Matías *et al.*, 2018).



**Figura 21.** Amaranto.

**Fuente:** Sistema integral de comunicación, 2019.

### 1.7.2 Morfología.

El amaranto es una planta anual, herbácea, posee diferentes colores, con tallos largos que crecen rápidamente, alcanzan una altura de hasta 2,60 m. el amaranto es tolerable al calor y la sequía (Jiménez, 2017).

El amaranto es una dicotiledónea de la familia *Amaranthaceae*, género *Amaranthus* comprende aproximadamente 70 especies, existiendo una amplia variabilidad genética entre éstas. Dichas especies se pueden cultivar tanto para la producción

de grano de alto valor nutritivo como de forraje, o pueden también crecer como malezas agresivas. Por el tipo de usos que tiene, el amaranto se clasifica también en amaranto de grano y foliáceo, aunque también se usa con fines ornamentales. Las tres principales especies que son cultivadas para la producción de grano son:

- a) *A. hypochondriacus*, originario de México.
- b) *A. cruentus*, originario de Guatemala y del sureste de México.
- c) *A. caudatus*, cuyo origen es América del Sur.

- **Planta.**

El amaranto (**Figura 22**), es una especie que alcanza gran desarrollo en suelos fértiles; en algunos casos supera los dos metros de altura. Generalmente tiene un solo eje central. Aunque también se presentan ramificaciones desde la base y a lo largo del tallo (Jiménez, 2017).



**Figura 22.** Planta de Amaranto.

**Fuente:** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018.

- **Raíz.**

Es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes, la raíz principal sirve de sostén a la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja. Las raíces primarias (**Figura 23**), llegan a tomar consistencia leñosa que anclan a la planta firmemente. En caso de ataque

severo de nemátodos se observan nodulaciones prominentes en las raicillas (Grandes 2015).



**Figura 23.** Conjunto de raíces de Amaranto.

**Fuente:** Native Plant Trust 2022.

- **El tallo.**

El tallo (**Figura 24**), es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud, cuyo grosor disminuye de la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coincide con el color de las hojas, aunque a veces se observan estrías de diferentes colores, presenta ramificaciones que en muchos casos empiezan desde la base o a media altura y que se originan de las axilas de las hojas (Jiménez, 2017).



**Figura 24.** Tallos de planta de Amaranto.

**Fuente:** Concentradora Nacional de Plantas Ornamentales, 2022.

- **La inflorescencia.**

Son numerosas, tiene un comportamiento autógamo en alto porcentaje, pero por acción del viento y los insectos presentan fecundación cruzada. Las flores (**Figura 25**), son pistiladas o estaminadas, las pistiladas presentan estigmas receptivos varios días antes que maduren los estambres. El androceo está formado por cinco estambres con anteras de color amarillo. El gineceo presenta ovario esférico, supero, coronado por tres estigmas filiformes y pilosos, que aloja a una sola semilla. Todas las flores (pistiladas y estaminadas) tienen una bráctea y cinco sépalos. La mayoría de las flores estimadas presentan cinco estambres y algunas cuatro a seis, degenerando el pistilo hasta convertirse en una prominencia muy pequeña (Grandes 2015).



**Figura 25.** Inflorescencia de la planta de Amarantho.

**Fuente:** Sistema integral de comunicación, 2020.

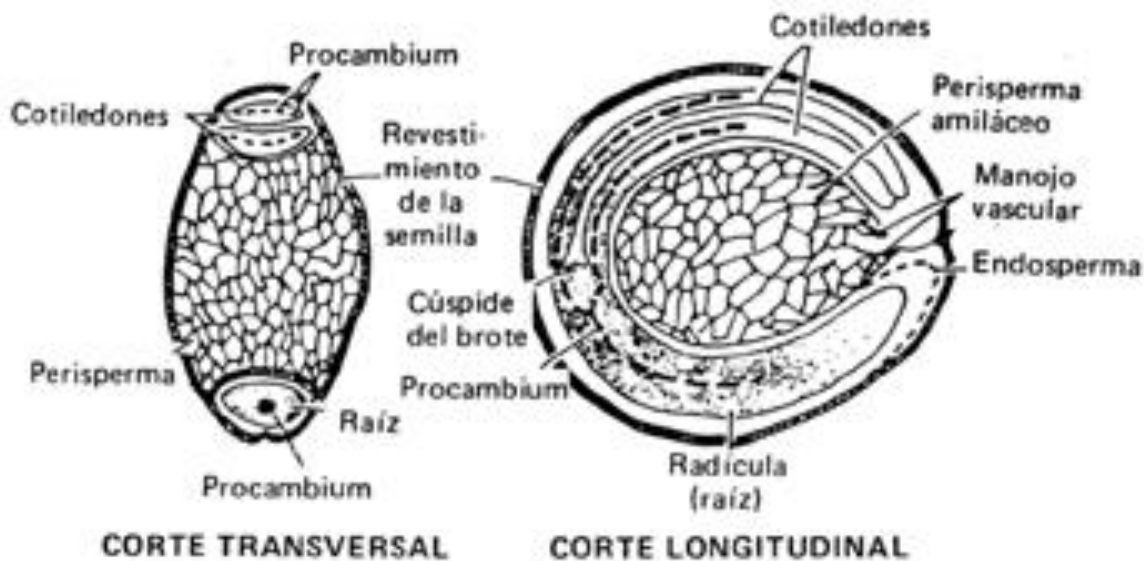
- **El fruto.**

Es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, que a la madurez se abre para dejar caer la parte superior u opérculo, dejando al descubierto la parte inferior llamada urna, donde se aloja la semilla, la misma que se desprende fácilmente; dando lugar a una fuerte dehiscencia o caída de las semillas (Grandes 2015).

- **Semilla.**

La semilla es muy pequeña apenas mide de 1 a 1,5 mm de diámetro, es ligeramente aplanada, tiene colores como blanco amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros (Jiménez, 2017).

El número de semillas por grano es de 1800, de las cuales el 82 % son normales y el 18 % mal formadas o inmaduras. La semilla es dura. Lo que genera dificultad para moler. En el grano (**Figura 26**), se distinguen el episperma o cubierta de las semillas, el endospermo o segunda capa, el embrión formado por los cotiledones y la parte más interna llamada perisperma. Las semillas de otras especies de amaranto son de forma redonda, ovoide de color blanco o blanco amarillento, cuyo diámetro puede variar entre 0,7 y 1,4 mm. El peso hectolítrico está entre 78 y 83 Kg/hL. En un gramo de semillas pueden encontrar hasta 1000 semillas o más (Grandes 2015).

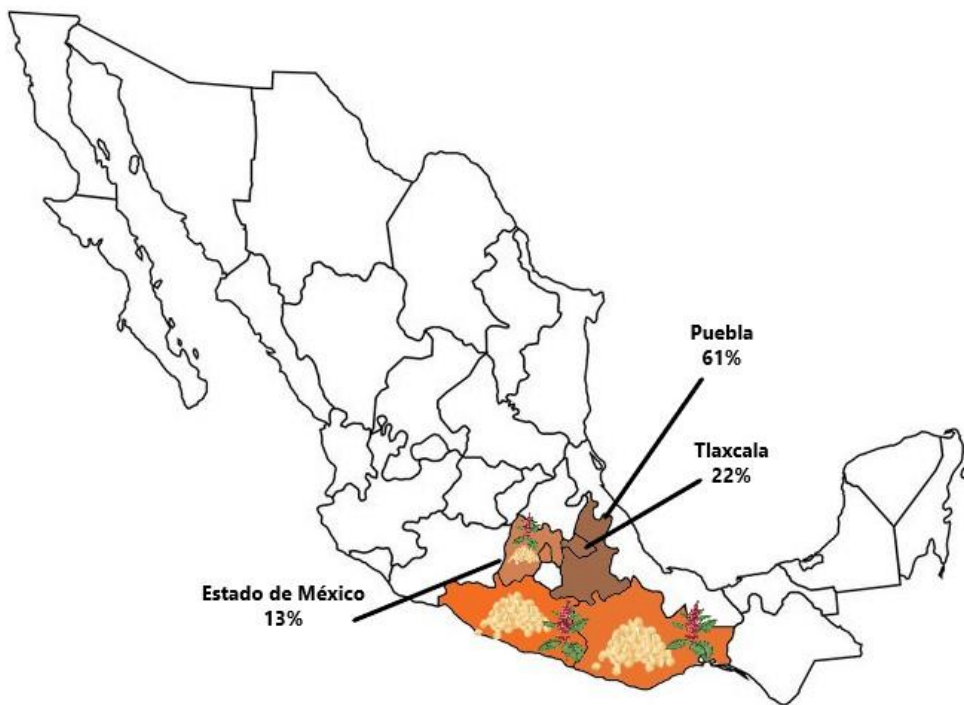


**Figura 26.** Partes del grano del Amaranto.

Fuente: Prieto, 2022.

### 1.7.3 Producción del Amaranto en México.

La producción de amaranto empezó a disminuir después de la Conquista, entre 1577 y 1890, su consumo era casi nulo. Su bajo consumo se debió al uso ritual de esta planta, pues los aztecas convertían en tzoalli la semilla molida y amasada con miel de maguey, y elaboraban panes con forma de sus deidades: Tezcatlipoca, Quetzalcóatl, Tláloc, Chalchiuhtlicue, Coatlicue, Xiuhtecuhtli, Chicomecóatl, Matlalcueye, Iztactépetl y Opuchtlí, deidades que así personificaban para sacralizar (conferir carácter sagrado), “su carne” y consumirla con gran reverencia. Los españoles al ver el uso religioso de esta semilla consideraron que era una perversión a la eucaristía católica por lo que vetaron su consumo, así que su cultivo fue prohibido hasta casi desaparecer, pero se logró conservar en algunas zonas apartadas de la Conquista. El amaranto es de gran importancia para los pequeños productores del centro y sur de México (**Figura 27**). Hoy prevalece principalmente en el estado de Puebla, considerado el mayor estado productor con 1,969 hectáreas de siembra y cosecha, este concentra el 61 % de la producción nacional. Le siguen Tlaxcala con el 22 %, el Estado de México con el 13 %, la Ciudad de México con el 3 %, Oaxaca con el 2 % y Morelos con menos del 1 %. En el 2019, se obtuvieron 5,548 toneladas sembradas en 3,192 hectáreas a nivel nacional (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2020).



**Figura 27.** Porcentaje del valor de la producción por entidad federativa de Amaranto.

**Fuente:** Revista Nutrición Investigación, 2018.



#### 1.7.4 Composición química del amaranto.

La semilla de amaranto contiene aproximadamente 17.9 % de proteína en promedio y se puede comparar con semillas convencionales como el maíz con 13.8 %, arroz con 11.7 % y trigo 12.5 %. El contenido de grasa es relativamente alto (7.7 %), sin embargo, este valor es mucho menor que en algunas leguminosas consumidas como la soya con un valor de 20.1 %. Los análisis de composición (**Tabla 3**), indican que los contenidos de proteína cruda, grasa, fibra y cenizas del amaranto son generalmente más altos que en los cereales, sin embargo, el contenido de carbohidratos es más bajo.

**Tabla 3.** Composición química del grano de Amaranto hypochondriacus.

Componentes	Cantidad (%)
Carbohidratos	57.0
Proteínas	17.9
Lípidos	7.7
Humedad	11.1
Cenizas	4.1
Fibra	2.2

Fuente: Silva, 2007.

En general el contenido de aminoácidos esenciales del amaranto tiene niveles adecuados (**Tabla 4**); muy en particular los aminoácidos azufrados (2.6 a 5.5 %) y lisina (3.2 a 6.4 %); este último corresponde a casi el doble de lo que contiene el maíz y el trigo (2.2 a 4.5 %) y algo menos de lo encontrado en leguminosas importantes como chícharo, frijoles y soya (1.4 %).

Esta composición de aminoácidos es poco usual debido a su balance cercano al óptimo requerido en la dieta humana en adultos según la FAO, lo que hace de este grano una cosecha promisoriosa como alimento o fuente de proteínas en la dieta. Por otra parte, la cantidad de aminoácidos esenciales es superior en las fracciones de

globulinas y prolaminas, mientras que la fracción de albúminas posee los más altos contenidos de lisina (Silva, 2007).

**Tabla 4.** Composición de aminoácidos esenciales de semillas de amaranto en (g/100g de proteína).

Aminoácido	Amaranthus Hypochondriacus
Isoleucina	2.8 - 3.8
Leucina	5.0 - 5.8
Lisina	3.2 – 6.0
Met + Cis	2.6 – 5.5
Felina + Tiro	6.9 – 8.5
Treonina	2.6 – 4.3
Triptófano	1.1 – 4.3
Valina	3.2 – 4.2

Fuente Silva, 2007.

En los últimos años se está trabajando para mejorar el valor nutritivo de productos alimenticios elaborados con trigo; una estrategia que se está promoviendo es el uso de cereales y pseudocereales en grano y harinas integrales; uno de estos granos es el amaranto, asociado con la presencia de una alta concentración de proteínas, ácidos grasos, fibra dietética y minerales, por lo que se convierte en una alternativa para mejorar la calidad nutricional de los alimentos. El amaranto puede ser empleado como una nueva fuente de nutrientes, especialmente en la elaboración de pan, permitiendo mejorar su valor nutricional del mismo y ofreciendo un alimento funcional a la población (Montero *et al.*, 2015).

Es por ello por lo que en este proyecto se implementó el uso de harina de amaranto para la elaboración de un pan de muerto tradicional, buscando complementar la harina de trigo, para mejorar su calidad nutrimental y funcional.

## **2 Desarrollo Experimental.**

### **2.1 Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

Desarrollar una formulación para elaborar pan de muerto con harina de trigo complementada con harina de amaranto para mejorar su calidad nutrimental y funcional.

#### **Objetivo particular 1.**

Cuantificar la composición química (AQP), nutrimental (digestibilidad *in vitro*, triptófano, almidón total y digerible, relación de eficiencia proteica, digestibilidad *in vivo*) y funcional (capacidad antioxidante, fenoles totales, almidón resistente y fibra dietética) y factores antinutrimientales (taninos, inhibidores de tripsina y ácido fítico) de las harinas de trigo y de amaranto para compararlos y conocer si podrían complementarse.

#### **Objetivo particular 2.**

Evaluar diferentes formulaciones para elaborar pan de muerto con mezclas de harina de amaranto y trigo por medio de una prueba sensorial de preferencia para seleccionar la mejor.

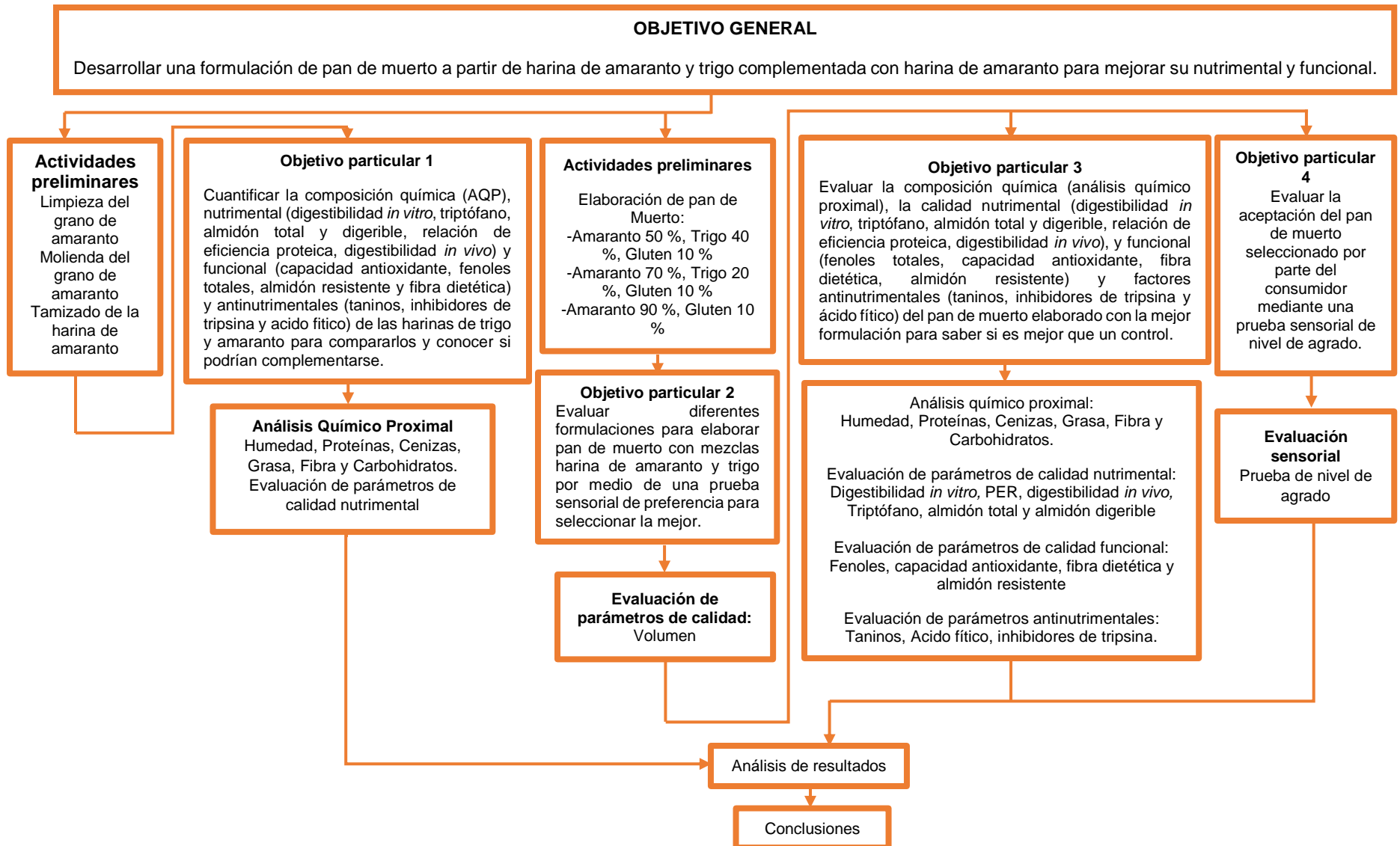
#### **Objetivo particular 3.**

Evaluar la composición química (análisis químico proximal), la calidad nutrimental (digestibilidad *in vitro*, triptófano, almidón total y digerible, relación de eficiencia proteica, digestibilidad *in vivo*), y funcional (fenoles totales, capacidad antioxidante, fibra dietética, almidón resistente) y factores antinutrimientales (taninos, inhibidores de tripsina y ácido fítico) del pan de muerto elaborado con la mejor formulación para saber si es mejor que un control.

#### **Objetivo particular 4.**

Evaluar la aceptación del pan de muerto seleccionado por parte del consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.

### 3 Cuadro metodológico.



## 4 Materiales y métodos.

### 4.1 Material biológico.

Para la realización de este proyecto se utilizó amaranto de la especie *Amaranthus hypochondriacus*, cosecha 2014 variedad Tulyehualco adquirido en Santiago Tulyehualco y harina de trigo marca Tres estrellas® (**Figura 28**).



**Figura 28.** Harina de trigo marca tres estrellas®.

#### 4.1.1 Preparación de la muestra.

El grano de amaranto se limpió, retirando material extraño como tierra, hojas o cualquier otra que estuviera presente. Posteriormente se realizó una molienda en un molino de cuchillas para café marca KRUPS, el producto obtenido se tamizó con una malla # 40 serie USA (**Figura 29**). La harina de amaranto obtenida se almacenó en frascos de vidrio a temperatura de refrigeración hasta su uso.



**Figura 29.** Tamiz malla # 40 serie USA.

## 4.2 Análisis Químico Proximal.

A la harina de amaranto que se obtuvo de la molienda y la harina de trigo se le realizaron un AQP de acuerdo con la AOAC (2005). Estas mismas pruebas se les realizaron a los productos elaborados: Pan de muerto control (100 % de trigo) y el producto seleccionado con amaranto.

### 4.2.1 Determinación de humedad (Método AOAC 925.09).

#### Fundamento:

Pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

#### Procedimiento:

1. Se pesaron 3 g de muestra en cajas de aluminio a peso constante.
2. Se colocaron en la estufa durante 1 hora (**Figura 30**), a una temperatura de 130 °C.
3. Se pasaron a un desecador las cajas de aluminio y se dejaron enfriar por 10 minutos
4. Después se pesaron las cajas en una balanza analítica y se repitió la operación hasta llegar a peso constante.

#### Cálculos:

$$\% H = \frac{(W_2 - W_3)}{W_1} \times 100$$

#### Dónde:

W1=Peso de la muestra (g).

W2= Peso de la muestra húmeda (g).

W3=Peso de la muestra seca (g).



**Figura 30.** Estufa marca Harsa.

#### 4.2.2 Determinación de grasa.

**Técnica: Método de Soxhlet (Método AOAC 920.39).**

##### **Fundamento:**

Consiste en una extracción continua con un disolvente orgánico, el disolvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso. El resultado se expresó como porcentaje de grasa extraíble.

##### **Procedimiento:**

1. Se colocó una muestra de 3 gramos en pañuelos porosos de forma envolvente.
2. La muestra envuelta se colocó en cartuchos de celulosa y se montó el equipo de extracción (**Figura 31**) con un matraz bola a peso constante, se puso a reflujo durante 2.5 horas.
3. Una vez pasado el tiempo se evaporó el hexano, y se retiró el cartucho de celulosa.

4. Se espera a que termine de evaporarse el hexano y queda la grasa libre.
5. Se retiró el matraz, se colocó en una estufa a 70 °C por media hora, se dejó enfriar y se pesó.

**Cálculos:**

$$\% \textit{Grasa} = \frac{(W_3 - W_2)}{W_1} \times 100$$

**Dónde:**

W1=Peso de la muestra antes de la desecación (g).

W2= Peso del matraz sin muestra (g).

W3=Peso del matraz con grasa (g).



**Figura 31.** Equipo Soxhlet para determinación de grasa.



### 4.2.3 Determinación de Proteínas.

**Técnica: Método de Micro- Kjeldahl ((Método AOAC 954.01).**

#### **Fundamento:**

El método Micro Kjeldahl es la técnica para la determinación de nitrógeno total. Donde en una combustión húmeda con  $H_2SO_4$  y en presencia de un catalizador metálico se transforman las sustancias nitrogenadas en sulfato de amonio valorable con desprendimiento de  $CO_2$  y formación de agua (digestión), para después realizar una destilación para obtener el  $NH_3$  libre a partir de  $NH_4SO_4$  agregando NaOH 40 %. El destilado se hizo hacia una solución de  $HBO_3$  al 4 % quedando atrapado el  $NH_3$  para finalmente titular el exceso de ácido con HCL 0.1 N.

#### **Procedimiento:**

1. Se pesó 0.1 g de muestra y se colocó en un matraz Micro-kjeldahl, con 1.5 g de  $K_2SO_4$ , 0.2 g de  $CuSO_4$  y 2 mL de  $H_2SO_4$ .
2. Se colocaron en una parrilla eléctrica para que se llevará a cabo la digestión, durante 1.5 horas (**Figura 32a**). Finalizado el tiempo se dejaron enfriar
3. Se agregó la solución en el destilador (**Figura 32b**) y enseguida se vació el NaOH 40 %.
4. La destilación se dirigió a un matraz Erlenmeyer con 50 mL de  $HBO_3$  al 4 %, se dejó hasta que llegó a 100 mL y se retiró
5. Después, se tituló con HCL 0.1 N (los mililitros gastados fueron los utilizados en la ecuación).

#### **Cálculos:**

$$\% N = \frac{(V_2 - V_1) (N)(0.014)}{W} \times 100$$

$$\% P = (Factor)(\% Nitrogeno total)$$

**Dónde:**

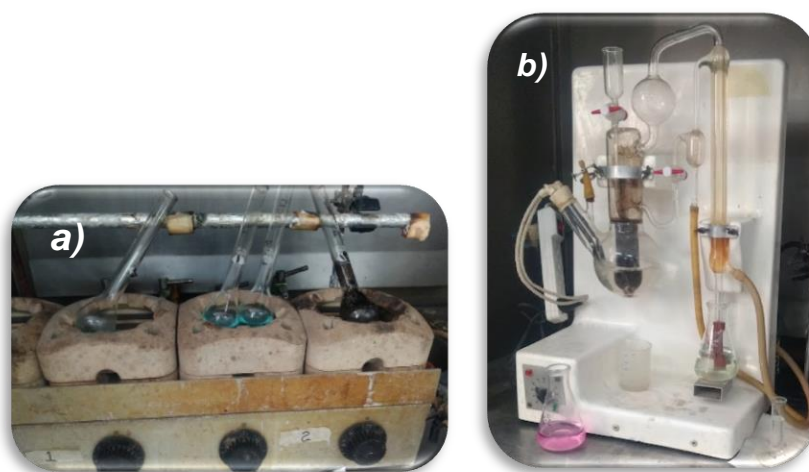
W=Peso de la muestra (g).

V1= Volumen (mL) de la solución de HCl requerido para la prueba en blanco.

V2 =Volumen (mL) de la solución de HCl requerido para la muestra problema.

N= Normalidad del HCl.

Factor=5.83 trigo y 5.87 amaranto.



**Figura 32.** Equipo para determinar proteínas **a)** Digestión y **b)** Destilador.

**4.2.4 Determinación de cenizas.**

**Técnica: Método de Klemm “Cenizas totales” (Método AOAC 923.03).**

**Fundamento:**

Descomposición de la materia orgánica por incineración. En este método toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre 550-600 °C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza. El residuo de incineración se calcula por diferencia de peso.

### Procedimiento:

1. Se colocó 3 g de muestra en un crisol a peso constante.
2. El crisol se colocó a fuego directo (**Figura 33a**) y se dejó calcinar la muestra hasta que no saliera humo, y el color de la ceniza fuese negro.
3. Se colocó en la mufla de 550 a 600 °C (**Figura 33b**) durante 1 hora y después se dejó enfriar 10 minutos en un desecador y se pesó.
4. Se repitió el paso 3 hasta llegar a peso constante, y se hicieron los siguientes cálculos.

### Cálculos:

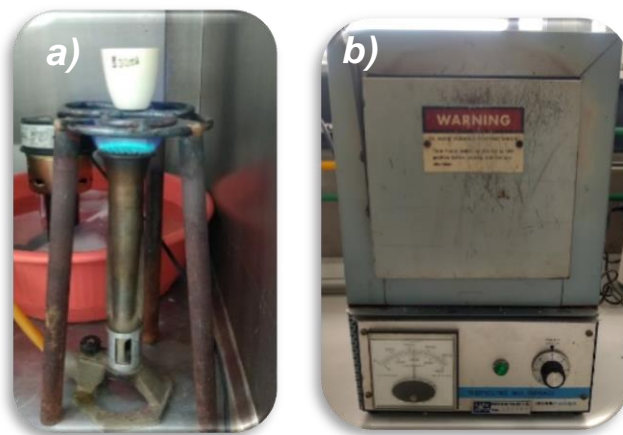
$$\% C = \frac{(W_3 - W_2)}{W_1} \times 100$$

### Dónde:

W1=Peso de la muestra (g).

W2= Peso del crisol sin muestra (g).

W3=Peso del crisol con las cenizas (g).



**Figura 33.** Determinación de cenizas **a)** Incineración directa y **b)** Mufla.

#### 4.2.5 Determinación de fibra.

Técnica: Wendee (MÉTODO AOAC 989.03).

##### Fundamento:

Es la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se obtiene la fibra cruda. Su determinación se basa en la simulación de la digestión en el organismo por tratamientos ácidos y alcalinos, separando los constituyentes solubles de los insolubles. La naturaleza química de la fibra cruda, aun cuando no está bien establecida, se considera constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina.

##### Procedimiento:

1. Se pesó 2 g de muestra seca y libre de grasa.
2. Se colocó la muestra en un vaso de precipitados de 600 mL.
3. Se adicionaron 200 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1.25 %, para después colocarlo en una parrilla, bajo un extractor de gases. Se dejó hervir durante 20 minutos.
4. Se agregaron 200 mL de NaOH al 2.5 % y continuó calentándose por 20 minutos.
5. Se filtró la solución usando papel filtro, seco y pesado, el cual se colocó en un embudo Buchner (**Figura 30**).
6. Se realizaron lavados sucesivos con: agua caliente, hasta eliminar el álcali (utilizando papel pH para confirmarlo).
7. Se dejó secar a 110 °C hasta peso constante y luego se pesó.
8. Se pasó el papel filtro a un crisol de porcelana que se encontraba a peso constante y se incineró y se pasó a una mufla a 530 °C.
9. Se dejó enfriar para después pesarlo. El resultado de la pérdida de peso fue el resultado de la fibra cruda.

##### Cálculos:

$$\% F \text{ cruda} = \frac{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)}{W_5} \times 100$$

**Dónde:**

W1=Peso del papel filtro (g).

W2= Peso del papel filtro con residuos secos (fibra) (g).

W3= Peso del crisol vacío (g).

W4= Peso del crisol después de la incineración (cenizas) (g).

W5= Peso de la muestra (g).



**Figura 34.** Determinación de fibra cruda.

**4.2.6 Determinación de carbohidratos.**

El contenido de carbohidratos se realizó por diferencia en base a la siguiente fórmula.

**Cálculos:**

$$\% \text{ CHOS} = 100 \% - (\text{Proteínas} + \text{Humedad} + \text{Grasa} + \text{Cenizas})$$

### 4.3 Elaboración de pan de muerto con harina integral de amaranto.

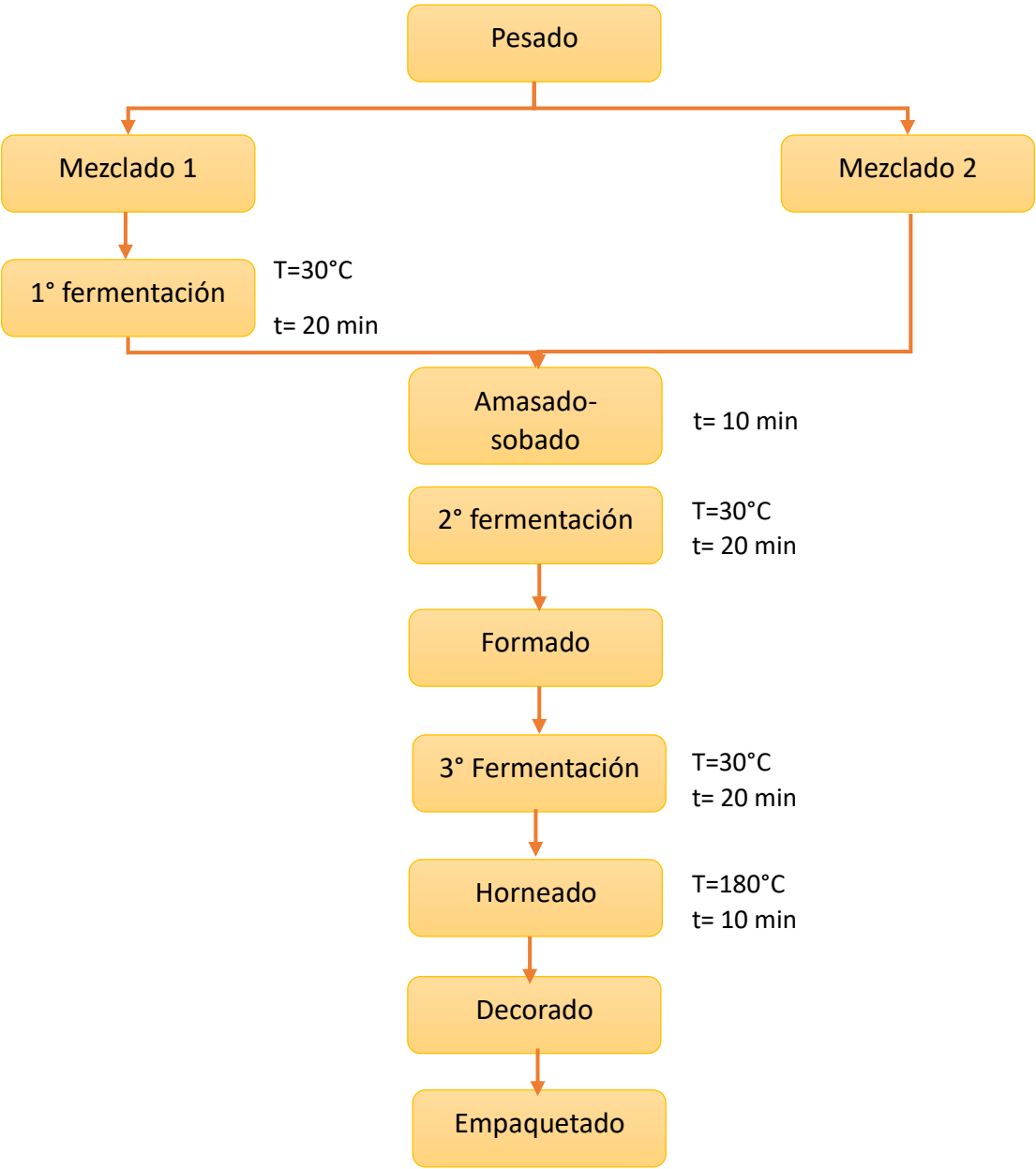
#### 4.3.1 Método para la elaboración de pan de muerto.

Para realizar la elaboración del pan de muerto con harina integral de amaranto se propuso primero elaborar un pan de muerto con harina de trigo comercial (control) con base a la siguiente formulación (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Formulación para la elaboración del pan de muerto control.

Ingredientes	Cantidad en %
Harina de trigo	41.15
Leche	21.6
Margarina	15.43
Huevo	11.11
Azúcar	6.2
Levadura	2.05
Esencia de vainilla	1.02
Ralladura de cáscara de naranja	0.823
Sal	0.617

Para la elaboración del pan de muerto se siguió el diagrama de proceso que se presenta en la **Figura 35**.



**Figura 35.** Diagrama de proceso para la elaboración de pan de muerto.

#### 4.3.2 Descripción del diagrama de proceso.

##### 1. Pesado.

Se realizó el pesado de las materias primas con ayuda de una balanza digital (**Figura 36**), marca TOPSCALE con capacidad de 500 gramos.



**Figura 36.** Balanza digital.

##### 2. Mezclado 1.

Se realiza el mezclado manual denominado esponja (**Figura 37**), que consiste en la incorporación de 2.5 % de levadura, 9.25 % de leche, 0.17 % de azúcar y 8 % de harina de trigo, se llevaba esta mezcla a una fermentación a 40 °C con una humedad relativa de 60 % durante un tiempo de 20 minutos.



**Figura 37.** Fermentación esponja.



### 3. Mezclado 2.

Al mismo tiempo que se realiza el mezclado 1 con ayuda de una batidora (**Figura 38**), se realiza la mezcla de los productos sólidos como lo es la harina de trigo, azúcar, sal, durante un tiempo aproximado de 10 minutos. Posteriormente se agrega la mantequilla, la leche, el huevo, la esencia de vainilla y la ralladura de naranja y se deja mezclar por un tiempo de 10 minutos.



**Figura 38.** Batidora marca Hamilton Beach Professional.

### 4. Amasado.

Ya que tenemos listas las mezclas anteriores, se realiza un amasado manualmente (**Figura 39**) y consiste en incorporar nuestra esponja a nuestra masa que obtuvimos en el mezclado 1. Se realiza el amasado por tiempo aproximado de 30 minutos, este paso es de suma importancia para la activación del gluten.



**Figura 39.** Amasado manual.

## 5. Fermentación 1.

Posteriormente la masa obtenida se llevó a la fermentadora (**Figura 40**), por un tiempo aproximado de 20 minutos a una temperatura de 29 °C con humedad relativa de 80 %.



**Figura 40.** Primera etapa de fermentación.

## 6. Formado o moldeado.

En este paso se le dará forma al pan de muerto (**Figura 41**), con ayuda de las manos se formó una bola, además se formarán los huesitos con las llanuras de los dedos y el cráneo (la bolita) del pan.



**Figura 41.** Formado de pan de muerto.

## 7. Fermentación 2.

Ya que estaban los panes formados se llevaron a la fermentadora (**Figura 42**), con el fin de aumentar su tamaño, por un tiempo aproximado de 20 minutos a una temperatura de 29 °C con humedad relativa de 80 %.



**Figura 42.** Fermentación del pan formado.

## 8. Horneado.

Se realizó un horneado de los panes ya formados (**Figura 43**), a una temperatura de 180 °C por un tiempo aproximado de 12 minutos. Se dejaron enfriar antes de pasar al decorado.



**Figura 43.** Horno marca The Robot Cool.

## 9. Decorado.

Ya que los panes estaban fríos se realizó el decorado (**Figura 44**), en donde se barnizan con mantequilla derretida y una porción de azúcar.



**Figura 44.** Pan de muerto decorado.

## 10. Empaquetado.

Por último, se realizó el empaquetado, introduciendo el pan en una bolsa de celofán, con su etiqueta correspondiente.



**Figura 45.** Pan de muerto empaquetado.

Además de la formulación control se propusieron las formulaciones siguientes para elaborar el pan de muerto (**Tabla 6**).

**Tabla 6.** Formulaciones propuestas para elaborar pan de muerto con harina de trigo y harina de amaranto.

Ingredientes en (%)	Formulaciones			
	100 % HT	50-50 %	30- 70%	10- 90%
Harina de Trigo	41.15 %	20.575 %	12.345 %	4.115 %
Harina de Amaranto	-	20.575 %	28.805 %	37.035 %
Leche	21.6 %			
Margarina	15.43 %			
Huevo	11.11 %			
Azúcar	6.2 %			
Levadura	2.05 %			
Esencia de vainilla	1.02 %			
Ralladura de naranja	0.823 %			
Sal	0.617 %			

Sin embargo debido a las características de la harina de amaranto y la poca cantidad de gluten existente en ella, las formulaciones que contenían harina de amaranto propuestas anteriormente fueron modificadas para obtener mejores resultados por lo que se le agregó a las formulaciones gluten vital de trigo en una proporción del 10 % (esta decisión fue tomada en base a proyectos previos en donde se determinó que esta cantidad es la más viable para usar en productos elaborados a base de harina de amaranto), quedando las formulaciones como se presentan en la **Tabla 7**.

**Tabla 7.** Formulaciones propuestas para elaborar pan de muerto con harina de trigo y de amaranto, agregando gluten vital.

Ingredientes	Formulaciones			
	100 % HT	40-50-10 %	20- 70- 10%	90-10%
Harina de Trigo	41.15 %	16.460 %	8.230 %	-
Sólidos granulares de Amaranto	-	20.575 %	28.805 %	37.035 %
Gluten	-	4.115 %	4.115 %	4.115 %
Leche	21.6 %			
Margarina	15.43 %			
Huevo	11.11 %			
Azúcar	6.2 %			
Levadura	2.05 %			
Esencia de vainilla	1.02 %			
Ralladura de naranja	0.823 %			
Sal	0.617 %			

#### 4.4 Pruebas de calidad física del pan de muerto.

Para determinar la calidad del pan de muerto con las diferentes formulaciones (incluyendo el control) se realizaron pruebas de calidad física como:

- **Volumen.**

Se consideró un pan de muerto control que fue elaborado en el laboratorio a partir de harina de trigo, ya que no existen parámetros físicos determinados por una norma oficial o un pan de muerto comercial que se pudiera usar como punto de comparación.

##### 4.4.1 Volumen.

Para determinar el volumen de las distintas formulaciones elaboradas se usó el método 10-05 de la AACC. Desplazamiento de volumen del producto horneado. En este método el volumen del producto se encuentra por diferencia de volúmenes mediante semillas de baja densidad, como son las de nabo con ayuda de un equipo como el que se muestra en la **Figura 46** (Vega ,2015).



**Figura 46.** Medidor de volumen para pan.

## **4.5 Evaluación sensorial.**

### **4.5.1 Prueba de preferencia.**

En las pruebas de preferencia, a los consumidores se les presentan dos o más muestras y se les pide que indiquen cuál es la muestra de su preferencia. Si hay más de dos muestras se puede solicitar a los consumidores que ordenen su preferencia (mayor a menor). Son pruebas de fácil realización y la pregunta es comprendida por los consumidores de todas las edades (Ramírez, 2012).

Esta prueba se realizó a las tres formulaciones ya establecidas en un horario de 10 a 13 horas, para que 100 jueces no entrenados y escogidos al azar pudieran seleccionar qué formulación era de mayor y menor preferencia en base al cuestionario que fue proporcionado (Anexo 1).

## **4.6 Evaluación de la calidad nutrimental.**

La calidad nutrimental de las harinas de amaranto y trigo fue evaluada por medio de la determinación de Triptófano presente en el producto, así como del almidón total, almidón digerible, la digestibilidad *in vitro* y la digestibilidad *in vivo*.

Así como también a los productos elaborados, control (100 % de trigo) y el producto seleccionado con amaranto.

### **4.6.1 Determinación de triptófano (cuantificación).**

#### **Fundamento:**

Hidrólisis enzimática, se libera el triptófano del enlace peptídico. Este aminoácido se cuantifica en proteínas puras o péptidas, mediante técnicas colorimétricas en las cuales se desarrollará color con  $\rho$ -dimetilaminobenzaldehído (DMAB) y nitrito de sodio como contraste. La lectura se realiza mediante espectrofotometría a  $\lambda = 590\text{nm}$  (Rama *et al.*, 1974).

#### **Procedimiento:**

1. Se pesó 1 g de muestra.
2. Se agregó pepsina y se dejó incubar a temperatura ambiente.
3. Se adicionaron 10 mL de NaOH y Pancreatina, se incubó por 24 horas.
4. Se aforó a 50 mL con agua destilada y se filtró.

5. Se adicionó HCL concentrado y DMAB, así como  $\text{NaNO}_2$ .
6. Se leyó en un Espectrofotómetro a 590 nm (**Figura 47**).



**Figura 47.** Determinación de triptófano.

#### 4.6.2 Determinación de Almidón total.

##### Fundamento:

Consiste en cuantificar la glucosa liberada como resultado de la hidrólisis enzimática de amiloglucosidasa que hidroliza los enlaces glucosídicos  $\alpha$ -(1,4) y  $\alpha$ -(1,6) de las cadenas de amilosa y amilopectina, según el método propuesto por Goñi *et al.*, 1997.

##### Procedimiento:

1. Se pesaron 0.05 g de muestra, se agregó KOH y se mantuvo en agitación constante.
2. Pasado el tiempo se agregó buffer de acetato de sodio y se ajustó el pH
3. Después se agregó amiloglucosidasa y se colocó en un baño a 60 °C y 45 minutos.
4. Posteriormente se dejó enfriar y se centrifugó a 5000 rpm.
5. Se agregó el reactivo de glucosa, se dejó reposar por 20 minutos y se leyó a una absorbancia de 505 nm (**Figura 48**).

##### Cálculos:

1. De una curva patrón de glucosa se obtiene la ordenada al origen (b) y pendiente (m).
2. Sustituir en la siguiente ecuación.



$$X = \frac{\text{Absorbancia} - b}{m}$$

**Donde:**

m= pendiente

b= ordenada al origen

X= Almidón en 1000  $\mu\text{L}$

3. Con este valor se realiza el cálculo para el porcentaje de almidón total.

$$X1 = \frac{(1000 \mu\text{L} - x)}{(10 \mu\text{L})}$$

4. Calcular el contenido de almidón total para 10  $\mu\text{L}$ .

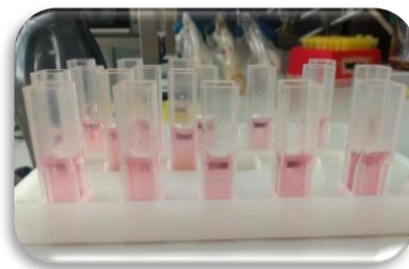
$$X2 = \frac{(X1)(\text{mL de sobrenadante})}{(1 \text{ mL})}$$

5. Calcular el contenido de almidón en 100 g de muestra.

$$X3 = \frac{(X2)(100 \text{ g})}{\text{g muestra}}$$

6. Calcular el porcentaje de almidón total con la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Almidón total} = \frac{(X3)}{10 E6}$$



**Figura 48.** Muestras en celdas para determinación de Almidón total.

### 4.6.3 Determinación de Almidón digerible.

La cantidad de almidón digerible se determinó por diferencia de la cantidad de almidón total y la cantidad de almidón resistente.

$$\text{Almidón Digerible} = \text{almidón total} - \text{almidón resistente}$$

### 4.6.4 Digestibilidad *in vitro*.

#### Fundamento:

Sistema multienzimático compuesto por una solución A (tripsina, quimotripsina, peptidasa) y solución B (proteasa bacteriana).

El coeficiente de correlación entre el pH a los 20 minutos y la digestibilidad aparente *in vitro* es de 0.90, con un margen de error estimado de 2.23 (Hsu *et al.*, 1977).

#### Procedimiento:

1. Se pesó una muestra que contenía 10 mg de N<sub>2</sub>.
2. Se adicionó 10 mL de agua destilada y se ajustó el pH a 8.
3. Se dejó en agitación en un baño de agua a 37 °C.
4. Después de la hora se añadió 1 mL de solución (A).
5. Después se adicionó 1 mL de solución (B) a 55 °C.
6. A los 20 min se midió el pH (**Figura 49**).

#### Cálculos:

$$\% \text{ Dig} = 234.84 - 22.56 (\text{pH})$$

**Dónde:**

**Lectura pH=** pH de la suspensión de proteína.



**Figura 49.** Determinación de Digestibilidad *in vitro*.

#### **4.6.5 Digestibilidad *in vivo*.**

**Fundamento:**

La digestibilidad aparente de la proteína, se define como la proporción de nitrógeno ingerido que es absorbido por el animal, se determinó midiendo el nitrógeno ingerido y el de las heces secas y molidas (por Kjeldahl) de cada rata (**Figura 50**), en la última semana del ensayo del PER (28 días) y se realizaron los respectivos cálculos (A.O.A.C., 1990).

**Cálculos:**

Para la evaluación biológica se utilizó la determinación de digestibilidad aparente (DA) con la siguiente ecuación:

$$DA = \frac{NI - NF}{NI} \times 100$$

**Dónde:**

**NI=** Nitrógeno ingerido.

**NF=** Nitrógeno fecal.



**Figura 50.** Rack para ratas Wistar.

#### **4.6.6 Relación de eficiencia proteica.**

##### **Fundamento:**

Con el fin de evaluar la calidad proteica de la formulación seleccionada previamente mediante la prueba de preferencia, se realizó la prueba de la Relación de Eficiencia Proteica (REP) más conocido por sus siglas en inglés PER (Protein Efficiency Ratio) (MÉTODO AOAC 960.48) de 1990.

Representa el cociente entre los gramos de peso ganado de los animales en estudio dividido por los gramos de proteína ingerida. Para ello fue necesario elaborar una dieta isoproteica e isocalórica con el pan de la formulación seleccionada y la dieta de referencia de caseína. Las dietas se prepararon de acuerdo con la formulación establecida por la A.O.A.C.

##### **Procedimiento:**

Se utilizaron 12 ratas Wistar de 21 días de nacidas, las cuales fueron divididas en dos lotes de 6 ratas cada uno, un lote de ratas fue alimentado con una dieta de

caseína como proteína control. Las ratas fueron colocadas en forma de culebra japonesa (este método distribuye los pesos en orden ascendente y se van haciendo lotes de seis en seis de izquierda a derecha y regresa de derecha a izquierda para una distribución homogénea), en condiciones de temperatura de 25 °C, humedad relativa de 48 % y periodos de luz de 12 horas.

Cada tercer día se registró el peso ganado, así como la cantidad de alimento consumido. Este ensayo tuvo una duración de 28 días.

### **Cálculos:**

$$PER = \frac{\Delta P}{\sum AI * F}$$

$$PER \text{ ajustado} = PER \text{ exp} * \frac{PER \text{ caseína}}{PER \text{ caseína exp}}$$

### **Donde:**

**ΔP**= Incremento de peso (g).

**ΣAI**= Alimento ingerido total (g).

**F**= % de proteína en la dieta/100.

**PER exp**= Valor de PER obtenido en el bioensayo.

**PER caseína ref.**= Valor de caseína de referencia (2.5).

**PER caseína exp.**= Valor PER de la caseína obtenido del bioensayo.

## **4.7 Evaluación de la calidad funcional.**

La calidad funcional de las harinas de amaranto y trigo fue evaluada por medio de la determinación de Fenoles, Almidón resistente, fibra dietética presentes en el alimento, así como la capacidad antioxidante.

De igual manera se les realizó a los productos elaborados, control (100 % de trigo) y el producto seleccionado con amaranto.

#### 4.7.1 Capacidad antioxidante.

Esta determinación fue propuesta originalmente por Brand-Williams. El DPPH(2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) es uno de los pocos radicales orgánicos estable, presenta una fuerte coloración violeta, es comercialmente disponible y no tiene que ser generado in situ como el ABTS (ácido 2,2-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico). El ensayo se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical DPPH, esta medición puede hacerse espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 518 nm.

La reacción de estabilización se considera que transcurre principalmente mediante un mecanismo Transferencia de Electrones (TE), con un aporte marginal de Transferencia de Átomos de Hidrógeno (TAH) (Londoño, 2012).

#### Obtención del extracto.

1. Se pesó 0.1 g de muestra.
2. Se diluyó con metanol-HCL al 1 %.
3. Se dejó hervir. Después se centrifuga.
4. Se obtuvo el sobrenadante.
5. Se colocaron a evaporar.
6. Una vez evaporados, se redisolviéron en agua desionizada.
7. Se finalizó con una centrifugación.

#### Determinación del poder antioxidante.

1. Del extracto obtenido se tomaron 500 µL.
2. Se agregaron de solución DPPH (**Figura 51a**).
3. Se dejaron reposar 30 minutos en oscuridad absoluta a temperatura ambiente.
4. Se leyó a 518 nm en espectrofotómetro (**Figura 51b**).

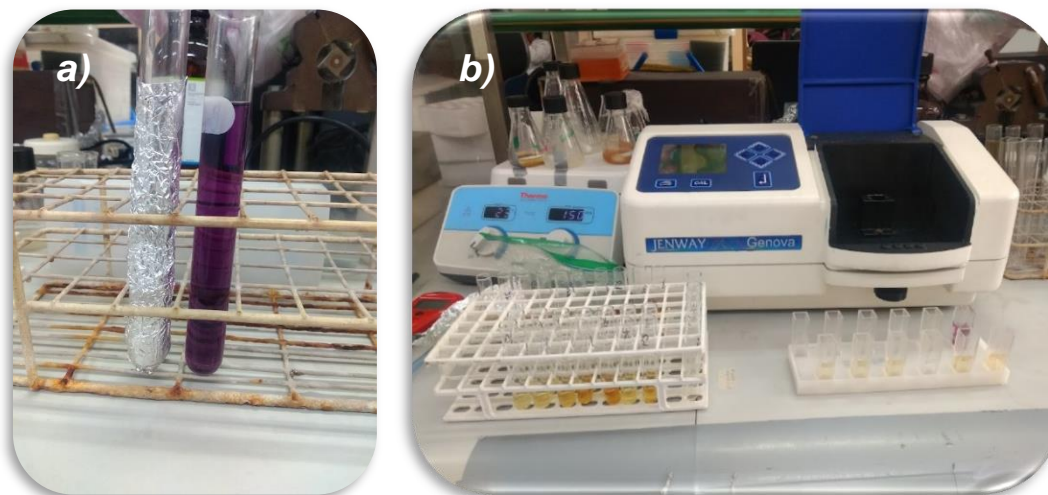
Cálculos:

$$\% CA = \frac{(Abs\ control\ negativo - Abs.\ Muestra)}{Abs\ Control\ Negativo} \times 100$$

**Dónde:**

**\*Abs. Control Negativo** = Valor de absorbancia (Metanol + DPPH).

**Abs. Muestra** = Valor de absorbancia de la muestra a analiza.



**Figura 51. a)** El DPPH(2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), **b)** Determinación de capacidad antioxidante.

#### 4.7.2 Determinación de Fenoles.

**Fundamento:**

El ensayo Folin-Ciocalteu se utiliza como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en productos vegetales. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765 nm. Este reactivo contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra. El ácido fosfomolibdotúngstico (formado por las dos sales en el medio ácido), de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul intenso, cuya intensidad es la que medimos para evaluar el contenido en polifenoles (Valadez *et al.*, 1990).

### Procedimiento:

1. Se preparó el extracto como se indica en la determinación de capacidad antioxidante antes mencionada.
2. Al extracto obtenido se agrega agua destilada.
3. Después se incorpora Folin.
4. Se agrega  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
5. Se agitaron y después se leyó la absorbancia a 760 nm (**Figura 52**).
6. Se realizaron los siguientes cálculos para la determinación de la cantidad de compuestos fenólicos.

### Cálculos:

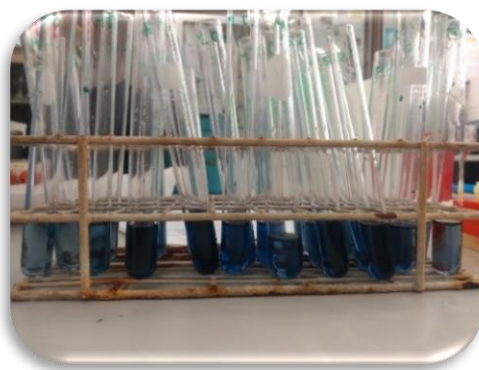
$$\text{Fenoles} = \frac{Y * E}{PM} * 10 = \frac{mg \text{ EAG}}{g \text{ muestra}}$$

### Dónde:

**Y:** Fenoles en 1 g de muestra.

**E:** Equivalencia en 6 equivalentes de ácido gálico.

**PM:** Peso molecular del ácido gálico (170.2  $\mu\text{g}$ ).



**Figura 52.** Determinación de fenoles



### 4.7.3 Fibra dietética.

#### Fundamento:

Se utiliza un método enzimático–gravimétrico. La muestra es secada, desengrasada y gelatinizada con la enzima termoestable  $\alpha$ -amilasa y posteriormente la digestión con proteasa y amiloglucosidasa para la remoción de proteínas y almidón. El total de la fibra dietética es el peso del residuo menos el peso de la proteína, cenizas y blanco (CUNNIF, 1995).

#### Procedimiento:

1. Se pesó 1 g de muestra.
2. Se le adicionó buffer de fosfato, ajustando pH.
3. Se le agregó solución de amilasa.
4. Se cubrió el matraz con papel aluminio y después se puso en un baño a ebullición.
5. Se dejó enfriar a temperatura ambiente, y se ajustó el pH adicionando NaOH.
6. Se adicionó proteasa.
7. Se cubrieron los matraces y se pusieron en un baño a 60 °C (**Figura 53a**).
8. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente, se agregó HCL y se ajustó el pH.
9. Se adicionó amiglucosidasa y se incubó a 60 °C por 30 min con agitación.
10. Se adicionó etanol al 95 %.
11. Se filtró la muestra en papel filtro (**Figura 53b**).
12. Se vació cuantitativamente el precipitado.
13. Se lavó el residuo con etanol.
14. Después, con acetona.
15. Se puso el papel filtro a secar durante la noche, luego se hizo lo requerido para llegar a peso constante.
16. De un papel se determinó proteína y del otro, cenizas (AOAC, 2005).
17. Se corrigió el residuo restándole las cenizas y proteína correspondiente.

#### Cálculos:

$$\%F = \frac{(R_{muestra} - P_{muestra} - A_{muestra})}{PM} \times 100$$

#### Dónde:

**R muestra** = peso del residuo de la muestra (mg).

**P muestra** = promedio del peso de proteína de la muestra (mg).

**A muestra** = Promedio del peso de cenizas de la muestra (mg).

**PM** = Peso de la muestra (mg).



**Figura 53.** a) Matracas con muestra y en un baño a 60 °C, b) Filtración para determinación de fibra dietética

#### 4.7.4 Almidón resistente.

##### Fundamento:

Consiste en realizar una digestión enzimática en donde se hidrolizan las cadenas de almidón y almidón unido a proteínas. Posteriormente se realiza un lavado con agua, etanol y acetona para eliminar la fibra soluble quedando solamente los residuos de fibra insoluble. Se realiza nuevamente otra digestión para liberar los monómeros de glucosa, que son cuantificados por un método enzimático-espectrofotométrico (Goñi *et al.*, 1996).

##### Procedimiento:

1. Se pesaron 100 mg de muestra y se agregó buffer KCl-HCl.
2. Se agregó pepsina y se mantuvo en agitación constante.
3. Se agregó buffer Tris-maleato.
4. Se agregó amilasa pancreática y se incubo por 16 horas.
5. Se centrifugó, posteriormente se agregó KOH y se mantuvo en agitación constante.
6. Se agregó buffer acetato de sodio ajustando el pH y adicionó la amiloglucosidasa.
7. Posteriormente se centrifugó el sobrenadante se trató con reactivo de glucosa y finalmente se leyó a una absorbancia de 505 nm (**Figura 54**).

**Cálculos:**

1. Se realizó una curva patrón de la glucosa para obtener la pendiente (m) y la ordenada al origen (b). Se sustituyó en la siguiente ecuación:

$$X = \frac{\text{Absorbancia} - b}{m}$$

**Donde:**

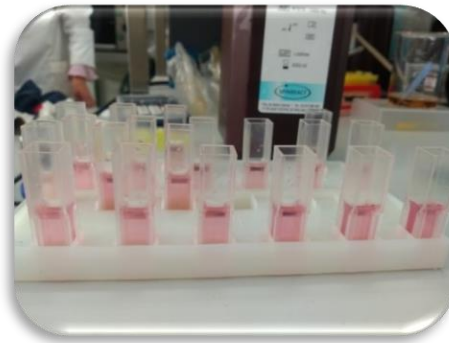
**m**= pendiente

**b**= ordenada al origen

**x**= almidón en 1000  $\mu\text{L}$

2. Con el valor obtenido se realizó el cálculo con la siguiente ecuación para poder obtener el % de almidón resistente.

$$X1 = \frac{(1000 \mu\text{L})(X)}{10 \mu\text{L}} = \%$$



**Figura 54.** Almidón Resistente

## 4.8 Factores anti nutrimentales.

### 4.8.1 Determinación de ácido fítico.

#### Fundamento:

El extracto de una muestra se calienta con una solución de ácido férrico para conocer el contenido de hierro. La disminución del hierro (determinada colorimétricamente con 2,2-bipiridina) en el sobrenadante es la medida del contenido de ácido fítico (Haug & Lantzsch, 1983).

#### Metodología

1. Se pesó 0.1 g de muestra y se adicionó 20 mL de HCL, después se agitó durante 20 min. y se centrifugó durante 15 min.
2. Se tomaron 0.5 mL del extracto y se colocó en un tubo de ensaye.
3. Se adicionó 1 mL de sulfato férrico de amonio 0.2 %.
4. Se tapó el tubo y se calentó a 95 °C durante 30 min (**Figura 55**).
5. Se dejaron enfriar los tubos de ensaye.
6. Una vez que se encuentran a temperatura ambiente se adicionaron 2 mL de 2,2-Bipiridina a cada tubo y se agitaron.
7. A los 30 segundos exactamente de haberle adicionado la 2,2-Bipiridina, se leyó la absorbancia a 519 nm.
8. Se realizaron los cálculos correspondientes.

#### Cálculos:

$$P = \frac{(X * E)}{T}$$

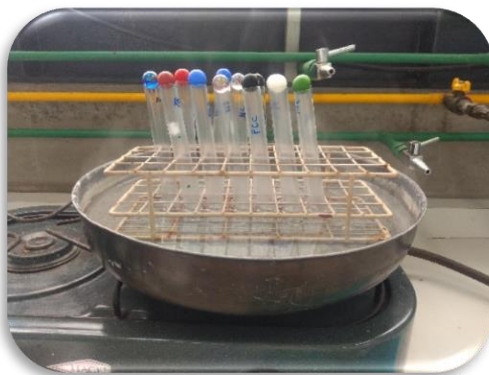
$$\%Acido\ fítico = \frac{(P \times 100\%)}{M}$$

#### Donde:

E= Equivalente a 660.08g (1mol de ácido fítico).

T= Equivalente a 185.82 (6 moles de P).

P= $\mu\text{g}$  de P del ácido fítico/mL.



**Figura 55.** Determinación de Acido Fítico.

#### 4.8.2 Determinación de taninos.

##### Fundamento:

Se basa en la extracción de los taninos hidrolizables y condensados (fenoles totales) mediante dimetilformamida (DMF) al 75 % y la posterior reducción del ion férrico debido a los iones polifenoles con la subsiguiente formación de un complejo colorido en condiciones alcalinas, cuantificado espectrofotométricamente a 525 nm (ISO 9648, 1988).

##### Metodología

##### Preparación de la muestra

1. Se pesó 1 g de muestra.
2. Se le adicionó DMF al 75 %.
3. Se agitó durante 1 hora, y se dejó reposar durante 15 minutos.
4. Se centrifugó a 5000 rpm durante 20 minutos.
5. Se tomó 1 mL de muestra del sobrenadante, y se ajustó el volumen a 6 mL con agua destilada, 1 mL de citrato férrico, 1 mL de amoniaco.
6. Se leyó la absorbancia a 525 nm y posteriormente se realizaron los cálculos correspondientes (**Figura 56**).

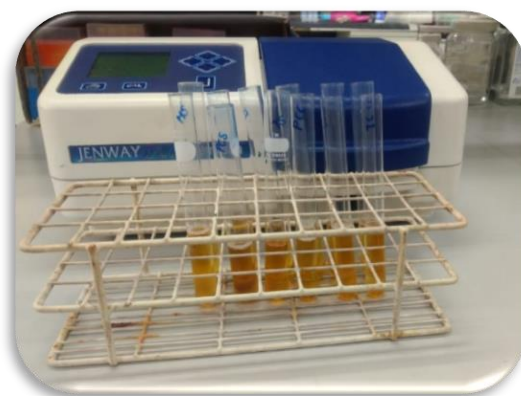
**Cálculos:**

$$\%Taninos = \frac{x}{M} * 100$$

**Dónde:**

x= valor obtenido (g).

m= peso de la muestra (g).



**Figura 56.** Lectura de absorbancia de determinación de Taninos.

#### **4.8.2 Inhibidores de Tripsina.**

**Fundamento:**

La técnica se basa en poner en contacto el extracto acuoso o diluido de una muestra con una solución estándar de tripsina. Posteriormente se determina la actividad proteolítica remanente utilizando un sustrato sintético benzoil-arginina-p-nitroanilida (BAPNA), el cual producirá coloración, que es inversamente proporcional al contenido de inhibidores de tripsina y que se lee en el espectrofotómetro a una  $\lambda = 410$  nm (Kakade et al., 1974).

## Metodología

1. A 1 g de muestra, se le adicionó NaOH 0.01 N; se ajustó el pH a 9.6, se agitó por un tiempo de 2 horas con 30 min a 300 rpm. Después se dejó en reposo por 30 min y se centrifugó 5 minutos a 5000 rpm.
2. Se tomaron porciones de 0, 0.6, 1, 1.4 y 1.8 mL del extracto anterior ajustando el volumen a 2.0 mL con agua destilada.
3. Se adicionó 5 mL de solución estándar de tripsina. Se mantuvo en contacto inhibidor de tripsina-tripsina por 10 minutos.
4. Se adicionaron 5 mL de solución BAPNA. Se mantuvo dicha mezcla de reacción por 10 minutos exactamente.
5. Se adicionó 1 mL de ácido acético al 30 %, para detener la reacción.
6. Si al adicionar del ácido acético al tubo de reacción, este se enturbiaba, era necesario filtrar, para ello era necesario dejar el tubo en reposo por 5 minutos. El filtrado debía ser transparente.
7. La lectura en el espectro se realizó a  $\lambda$  410 nm (**Figura 57**).

## Cálculos:

$$B * \text{FACTOR} * \frac{\text{vol. muestra}}{\text{mg de muestra}} = \frac{\text{UTI}}{\text{mg de muestra}}$$

## Donde:

B= Ordenada al Origen.

Factor= Factor de dilución.



**Figura 57.** Lectura de inhibidores de tripsina.

#### **4.9 Prueba de nivel de agrado.**

En este tipo de pruebas se le pide al consumidor que valore el grado de satisfacción general que le produce un producto utilizando una escala que le proporciona el analista, es un método que permite medir el agrado o desagrado por un producto. La muestra es presentada y se le pide al juez que la evalúe mediante la escala que se le presenta (Ramírez, 2012).

La presente prueba fue realizada a 100 jueces no entrenados en un horario de 10 a 13 horas, en ella se valoró a la formulación seleccionada anteriormente con el fin de que los jueces proporcionaran una calificación al producto, los resultados fueron reportados en los cuestionarios que se encuentran en el **Anexo 2**.

#### **4.10 Análisis estadístico.**

Las pruebas se realizaron por triplicado; calculando su media, desviación estándar y coeficiente de variación. Se analizaron las medias con la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significación de 0.05 utilizando el programa estadístico Origin 40.0.



## 5 Resultados y Análisis de resultados.

### 5.1 Análisis químico proximal de la materia prima.

Los resultados del análisis químico proximal de la materia prima: harina de trigo Tres estrellas® y la harina de amaranto se muestran en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Análisis químico proximal de la harina de trigo y harina de amaranto.

Muestra	Humedad %	Proteínas %	Grasa %	Cenizas %	Fibra %	Carbohidratos %
Harina de trigo	<sup>a</sup> 12.16±0.06	<sup>a</sup> 7.05±.45	<sup>a</sup> 1.02±0.04	<sup>a</sup> 0.56±0.03	<sup>a</sup> 2.06±0.12	<sup>a</sup> 74.15
Harina de Amaranto	<sup>a</sup> 10.44±0.06	<sup>b</sup> 23.51±1.46	<sup>b</sup> 3.93±0.02	<sup>b</sup> 1.98±.062	<sup>b</sup> 6.44±0.134	<sup>b</sup> 53.70

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa de ( $P \leq 0.05$ ).

Como se puede observar existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre todos los componentes químicos (**Tabla 8**) de la harina de trigo comparado con la harina de amaranto, con excepción de la humedad.

Se encontró que la harina de amaranto contiene el triple de proteínas que la harina de trigo, la harina de amaranto destaca por el alto contenido de proteínas presentes en ella, además la FAO y la Organización Mundial de Salud OMS han establecido que la harina de amaranto es considerada como un alimento de alto valor proteico para el ser humano (Fierro, 2013). Además, sobre un valor proteico ideal de 100, el amaranto posee un valor de 75, siendo comparado con otros alimentos como la leche vacuna con un valor 72, la soya con 68, el trigo con 60 y finalmente el maíz con 44 (Fierro, 2013).

Por otro lado, destaca el contenido de grasa, se observa que fue tres veces mayor en la harina de amaranto en comparación con el trigo, esto es importante debido a que se sabe que el grano de amaranto contiene alto contenido de grasas mono y poliinsaturadas, tales como el ácido linoleico mejor conocidos como aceites Omega-6 (Rodas *et al.*, 2009).

La fibra cruda triplicó su contenido en el amaranto comparado con el trigo, es recomendable su consumo en la dieta diaria ya que regula el tránsito intestinal y ayuda a eliminar toxinas y combate la retención de líquidos, además se le atribuye un papel beneficioso en la prevención de las llamadas enfermedades degenerativas, dentro de las que se encuentran las cardiovasculares, la diabetes y las neoplasias de colon (Sampayo, 2011).

En cuanto al contenido de cenizas presentes se observa que fue cuatro veces mayor en la harina de amaranto, cabe resaltar que esto es de suma importancia debido a que se ha reportado que contiene minerales como calcio, fósforo, hierro y zinc, con mayor importancia nutricional, presentándose en mayor proporción que en la leche materna (Mapes, 2015).

## 5.2 Análisis nutrimental de la materia prima.

Los resultados de la calidad nutrimental, donde se evaluó el contenido de triptófano, Digestibilidad *in vitro*, almidón total y almidón digerible para la harina de trigo y harina de amaranto se muestran en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Análisis nutrimental de la harina de trigo y harina de amaranto.

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> %	Triptófano (g Trp/100g proteína)	Almidón Total %	Almidón Digerible %
Harina de trigo	83.68±0 <sup>a</sup>	0.51±.005 <sup>a</sup>	69.79±4.36 <sup>a</sup>	68.28 <sup>a</sup>
Harina de Amaranto	85.85±1.30 <sup>a</sup>	2.45±1.3 <sup>b</sup>	60.77±0.19 <sup>b</sup>	53.46 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa de ( $P \leq 0.05$ ).

Como se puede observar existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el contenido de triptófano y el almidón total y digerible de la harina de trigo comparado con la harina de amaranto. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la digestibilidad *in vitro*.

La digestibilidad *in vitro* de la harina de amaranto y la harina de trigo son buenas para un alimento vegetal crudo (FAO, 2017); esto es importante ya que se considera que la digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de la proteína de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición (Manríquez, 1994).

A su vez, el contenido de triptófano fue cinco veces más elevado en la harina de amaranto, la presencia de triptófano es importante debido a que regula varios de los procesos humanos básicos, favorece la síntesis de serotonina que, como neurotransmisor ayuda a la transmisión del impulso nervioso, favorece la síntesis de melatonina regulando el sueño (Safont, 2003).

Por otro lado, se encontró que el almidón total y digerible en el trigo es mayor, esto se debe a que el almidón representa el 80 % de su peso, a diferencia del amaranto donde la cantidad de almidón va entre el 50 y 60 % de su peso (Mapes, 2015), esto

es bueno ya que el amaranto al presentar menor cantidad de almidón digerible puede ayudar a disminuir el riesgo del desarrollo de enfermedades crónicas como es la obesidad, la diabetes y la hipertensión arterial entre otras porque disminuye el índice glucémico (Esquivel, 2005).

### 5.3 Análisis funcional de la materia prima.

Los resultados de la calidad funcional, para la harina de trigo y harina de amaranto se muestran en la **Tabla 10**.

**Tabla 10.** Análisis funcional de la harina de trigo y harina de amaranto

Muestra	Fenoles (mgEAG/g mtra)	Capacidad Antioxidante %	Almidón Resistente %	Fibra dietética %
Harina de trigo	0.71±.04 <sup>a</sup>	6.33±0.19 <sup>a</sup>	1.51±0.03 <sup>a</sup>	3.46±0.01 <sup>a</sup>
Harina de Amaranto	1.96±.030 <sup>b</sup>	74.99±0.1 <sup>b</sup>	7.31±0.14 <sup>b</sup>	11.61±0.09 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa de ( $P \leq 0.05$ ).

Como se puede observar existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre todos los componentes funcionales de la harina de trigo comparado con la harina de amaranto. Se encontró que la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos fueron superiores en la harina de Amaranto, esto fue algo que se esperaba debido a que se conoce que este pseudocereal contiene compuestos fenólicos como el ácido cafeico, ácido p-hidroxibenzoico y ácido ferúlico y además también contiene fitoesteroles los cuales muestran actividad hipocolesterolémica, antiviral y antitumoral (González, 2012).

A su vez se encontró que el contenido de fibra dietética se duplicó y el Almidón resistente fue siete veces mayor en la harina de amaranto respecto a la harina de trigo, esto resulta favorable debido a que la fibra dietética se reconoce hoy, como un elemento importante para la nutrición sana, porque juega un papel importante en las funciones del sistema digestivo desde la masticación hasta la evacuación de las heces, además de provocar sensación de saciedad (Villarroel *et al.*, 2018; Escudero *et al.*, 2006).

## 5.1 Resultados de Factores anti-nutrimientales.

Se define como anti nutrientes a aquellos compuestos que afectan o inhiben la asimilación de nutrientes de los alimentos, especialmente contenidos en granos (Elizalde *et al.*, 2009). En la **Tabla 11** se presentan los resultados de los compuestos anti-nutrimientales.

**Tabla 11.** Factores anti-nutrimientales de la harina de trigo y harina de amaranto.

Muestra	Taninos (%)	Ácido fítico (%)	Inhibidores de tripsina UTI/mg
Harina de trigo	0.057 <sup>a</sup>	ND	ND
Harina de Amaranto	0.202 <sup>b</sup>	2.206	0.020

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa de ( $P \leq 0.05$ ).

\*ND, no detectado.

Como se puede observar en el porcentaje de taninos existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las harinas, el porcentaje fue mayor en la harina de amaranto debido a que se ha demostrado que en el amaranto se pueden encontrar taninos (González, 2012), aunque el contenido de taninos se puede reducir y quizá eliminar durante la molienda del grano (Morales *et al.*, 2009); este tipo de compuestos se encuentran de manera natural en alimentos de origen vegetal, sin embargo su presencia no implica en general un problema de toxicidad aguda por lo cual su consumo no representa riesgo para la salud humana (Febles, 1998).

En la harina de trigo no se detectó la presencia de ácido fítico, esto se puede deber a que el ácido fítico se encuentra en la capa externa del salvado del trigo (Martínez *et al.*, 2002) y como se sabe, durante la elaboración de la harina de trigo se realiza la molienda, durante la cual se elimina el salvado del trigo y germen (Molfese *et al.*, 2006). Por otro lado, sí se detectó ácido fítico en la harina de amaranto, esto se debe a que se encuentra en toda la semilla y en este caso no disminuye su contenido (Morales *et al.*, 2009). Sin embargo, se ha demostrado que el contenido de ácido fítico puede disminuirse aplicando un proceso térmico como la cocción, horneado y el reventado (Gómez, 2013), el porcentaje detectado en la harina de amaranto es bajo, ya que se consideran tóxicos en proporciones de 27.5 % (Berga, 2016).

A su vez el contenido de inhibidores de tripsina se detectó únicamente en la harina de amaranto, esto era algo esperado debido a que las semillas de amaranto suelen contener de 3.07 a 5.46 unidades inhibidoras de tripsina (Morales *et al.*, 2009), pero

cabe resaltar que estas concentraciones presentes en el amaranto no son tóxicas y se puede eliminar durante la cocción (Morales *et al.*, 2009).





Tomando en cuenta los resultados anteriores, la harina de amaranto tiene mejor calidad nutrimental y funcional que la de trigo y puede ser utilizada para complementarla en la elaboración de pan de muerto tradicional sin presentar riesgos para la salud del consumidor.

## 5.2 Elaboración de pan de muerto.

Para la elaboración del pan de muerto se propusieron tres diferentes formulaciones variando el porcentaje de harina de trigo y harina de amaranto, buscando obtener un producto similar al pan de muerto control (**Tabla 12**).

La formulación 1 (40 % harina de trigo, 50 % harina de amaranto y 10 % Gluten) y la formulación 2 (20 % harina de trigo, 70 % harina de amaranto y 10 % Gluten) no presentaron diferencias sensoriales como olor, sabor, textura y color, por lo cual podemos confirmar que la harina de amaranto puede ser útil en la elaboración de productos de panificación en sustitución de más del 10 % de harina de trigo (Mapes, 2015). En cambio, la formulación 3 (90 % harina de amaranto, 10 % gluten) mostró diferencias en cuanto a la textura debido a que se encontró más duro, seco y áspero, además se encontró un cambio notorio en el color al encontrársele más oscuro, de igual manera en el sabor ya que presentaba un sabor más pronunciado a amaranto.

**Tabla 12.** Diferentes formulaciones propuestas para elaboración de pan de muerto.

<b>Muestra</b>				
<b>Formulación</b>	Control 100 % harina de trigo	Formulación 1 40 % HT, 50 % HA, 10 %G	Formulación 2 20 % HT, 70 % HA, 10 %G	Formulación 3 90 % HA, 10 %G

\*Harina de trigo (HT), Harina de amaranto (HA), Gluten (G).

Por último, el pan de muerto control elaborado con 100 % harina de trigo, presentó buena apariencia física, además sabor, textura y color. De esta manera se logró realizar las tres formulaciones diferentes además de un pan de muerto control.

### 5.3 Pruebas de calidad física.

#### 5.3.1 Volumen.

En la **Tabla 13**, se muestran los resultados de los parámetros de calidad física de las tres formulaciones de pan de muerto elaborados con amaranto, los cuales se compararon con el control (100 % harina de trigo).

**Tabla 13.** Resultados de volumen a los panes de muerto elaborados con las tres diferentes formulaciones.

Control	F. 50 %, 40 %, 10 %	F. 70 %, 20 %, 10 %	F. 90 %, 10 %
210 <sup>a</sup> cm <sup>3</sup>	200 <sup>a</sup> cm <sup>3</sup>	180 <sup>a</sup> cm <sup>3</sup>	130 <sup>b</sup> cm <sup>3</sup>

\*Diferentes letras entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa de ( $P \leq 0.05$ ).

Se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre el pan de muerto control y las formulaciones que contenían 50 y 70 % de harina de amaranto, sin embargo, estas tres formulaciones presentaron diferencias significativas con la formulación que contenía 90 % de harina de amaranto, la cual presentaba un volumen mucho menor que el pan de muerto control. Esto puede deberse a que esta formulación contenía un porcentaje mayor de harina de amaranto y este no contenía el suficiente gluten, es por ello que el pan no puede atrapar el suficiente CO<sub>2</sub> lo que da como resultado un pan con menor volumen (Bustos, 2015).

### 5.4 Prueba sensorial de preferencia.

Se llevó a cabo una prueba sensorial de preferencia con 100 jueces no entrenados, los resultados se muestran en la **Tabla 14** y **Anexo 1**.

**Tabla 14** Resultados de evaluación sensorial de preferencia a los panes de muerto elaborados con las tres diferentes formulaciones.

Formulación	Clave	Puntuación total
Formulación 1 40 % Harina de trigo 50 % Harina de amaranto 10 % Gluten	#190	206 <sup>a</sup>
Formulación 2 20 % Harina de trigo 70 % Harina de amaranto 10 % Gluten	#225	211 <sup>a</sup>
Formulación 3 90 % Harina de amaranto 10 % Gluten	#310	183 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa de ( $P \leq 0.05$ ).

Como se puede observar en la **Tabla 14** no existió una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre las formulaciones que contienen 50 y 70 % de harina de amaranto, sin embargo, ambas formulaciones presentaron diferencias estadísticamente significativas con la formulación que contenía 90 % de harina de amaranto, siendo esta formulación la que tuvo menor preferencia por parte de los jueces, por lo cual fue rechazada. Por otro lado, la formulación que obtuvo mayor aceptación por parte de los jueces fue la que contenía 70 % de harina de amaranto, a su vez los comentarios que obtuvo fueron los más favorables; se mencionaba que poseía una buena presentación, sabor agradable y buena textura. Por estas razones se eligió la formulación de pan de muerto con 70 % de harina de amaranto como la mejor.

### 5.5 Análisis químico proximal del pan de muerto control y seleccionado.

Se realizó un análisis químico proximal al pan de muerto seleccionado y al control (100 % harina de trigo), para poder compararlos y saber si mejoró la calidad del pan de muerto con amaranto (**Tabla 15**).

**Tabla 15.** Resultados del análisis químico proximal de pan de muerto control y pan de muerto seleccionado

Muestra	Humedad %	Proteínas %	Grasa %	Cenizas %	Fibra %	Carbohidratos %
Pan de muerto control	3.56±0.20 <sup>a</sup>	9.54±.70 <sup>a</sup>	23.40±1.12 <sup>a</sup>	1.77±.03 <sup>a</sup>	5.7±.09 <sup>a</sup>	56.03 <sup>a</sup>
Pan de muerto 70-20-10%	4.87±0.18 <sup>b</sup>	19.93±0.81 <sup>b</sup>	21.21±0.17 <sup>a</sup>	2.59±0.05 <sup>b</sup>	25.67±2.97 <sup>b</sup>	25.73 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ )

Como se puede observar en la tabla 15 existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en todos los componentes químicos del pan de muerto control comparado con el pan de muerto seleccionado, a excepción del porcentaje de grasa.

Se encontró que en el pan de muerto seleccionado se duplicó el contenido de proteínas con respecto al pan de muerto control, esto es debido a la presencia de la harina de amaranto, esto era algo esperado debido a que la harina de amaranto presentó un mayor contenido de proteínas, cabe destacar que su importancia no radica en la cantidad sino en la calidad de la misma, ya que se ha comprobado que el amaranto posee un contenido de aminoácidos esenciales en los niveles adecuados con un excelente balance (Recalde *et al.*, 2013). Además de recordar

que la proteína del amaranto es fácilmente digerible lo que indica una buena disponibilidad de los aminoácidos esenciales (Sisti,2020).

Por su parte en el contenido de grasa no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), pero tienen una cantidad importante, por lo que es importante destacar que la grasa presente en el pan de muerto seleccionado proviene del amaranto y se ha reportado que la grasa del amaranto es de buena calidad debido a que entre los ácidos grasos que contiene se destaca el ácido linoléico (18:2), también conocido como omega 6 y el ácido linolénico (18:3), este es esencial para el organismo humano y con fuertes propiedades antiinflamatorias que reducen el riesgo de trombosis y otras enfermedades cardiovasculares (Fierro *et al.*,2012). Cerca del 6 % de los ácidos grasos en la semilla de amaranto son insaturados, contiene además ácidos oleico y palmítico en cantidades apreciables, el aceite de la semilla de amaranto es rico en escualeno con un contenido aproximado de 4,6 % a 6,7 %, siendo este último de interés debido a que se ha reportado que tiene efectos benéficos en la salud, entre ellos se ha reportado la reducción en el riesgo de varios tipos de cáncer en especial de colon, piel y pulmón, además protege a la piel humana de la peroxidación lipídica producida por la exposición a la luz ultravioleta u otras fuentes de daño oxidativo (Warleta *et al.*, 2007).

En cuanto al contenido de cenizas se observa que casi se duplicó su contenido en el pan de muerto seleccionado, y se ha reportado que la semilla de amaranto contiene minerales como el Hierro, Calcio, Potasio, Sodio, Zinc, Manganeso y Fosforo, mismo que es de vital importancia para la formación de los huesos y la función renal y de magnesio que es precursor del metabolismo del azúcar en sangre y relajante del músculo liso y que además puede servir como ayuda a la curación de herpes (Massari *et al.*, 2017). Con respecto a las vitaminas el amaranto contiene riboflavina, niacina, ácido ascórbico y ácido fólico, tiamina, biotina y  $\beta$ -caroteno, todos básicos para una buena alimentación. La deficiencia de vitaminas coadyuva generalmente al desarrollo de una enfermedad, por lo que la inclusión de amaranto en la dieta puede ayudar a prevenir estas enfermedades causadas por deficiencia de vitaminas (Llandán, 2012).

Por su parte, el contenido de Fibra cruda fue cuatro veces mayor, esto es favorable ya que, de acuerdo con los expertos, la cantidad de fibra que consumen tanto niños como adultos en México es menor a la que necesita nuestro organismo. Esta situación adquiere gran relevancia dado que la evidencia científica ha demostrado una relación directa entre el consumo de una dieta alta en fibra y toda una gama de beneficios a la salud; incluyendo la salud digestiva y la reducción del riesgo de enfermedades del corazón, la prevención del cáncer y el manejo de la diabetes (Prieto *et al.*, 2009).



Por último, el contenido de carbohidratos fue menor en el pan de muerto seleccionado, esto debido a que el grano de amaranto contiene únicamente el 57 % de carbohidratos, de este porcentaje la gran mayoría de los cuales se encuentran en forma de almidón, y no viene acompañados de gluten como ocurre con el trigo, además el índice glucémico es bajo por lo que las personas diabéticas podrían consumirlo (Casas, 2021).

## 5.6 Análisis de la calidad nutrimental del pan de muerto control y la formulación seleccionada.

Se realizó un análisis de la calidad nutrimental (**Tabla 16**) para comprar la variación de su contenido en el pan de muerto seleccionado con el pan de muerto control.

**Tabla 16.** Análisis nutrimental del pan de muerto control y seleccionado.

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> %	Triptófano (gTrp/100Prot)	Almidón Total %	Almidón Digerible %
Pan de muerto control	86.69±3.44 <sup>a</sup>	1.30±0.10 <sup>a</sup>	51.41±3.63 <sup>a</sup>	55.67 <sup>a</sup>
Pan de muerto seleccionado 70-20-10 %	90.20±2.60 <sup>b</sup>	.79±0.09 <sup>b</sup>	46.46±0.84 <sup>a</sup>	43.32 <sup>a</sup>

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Como se puede observar en la digestibilidad *in vitro* y en el contenido de triptófano existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre el pan de muerto control y el pan de muerto seleccionado. En cuanto a la digestibilidad *in vitro* se observa que aumentó el porcentaje en el pan de muerto seleccionado, lo que demuestra que el pan seleccionado elaborado con harina integral de amaranto proporciona una buena digestibilidad, ya que datos reportados por la FAO indican que la digestibilidad de 86-93% hace una buena proteína, la digestibilidad sirve como una medida para determinar la calidad de la proteína de la dieta (Manríquez, 1994). Por lo cual se asume que al consumir el pan de muerto seleccionado se estará aprovechando el mayor contenido de proteína y sus aminoácidos esenciales.

Por otro lado, podemos observar que el contenido de triptófano resultó ser mayor en el pan de muerto control con respecto al pan de muerto seleccionado, esto puede deberse a que el triptófano es susceptible a los cambios producidos por el calor y durante el horneado a una alta temperatura es probable que existiera daño y pérdida de este (Massieu *et al.*, 2002).

En cuanto al contenido del almidón total y digerible no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), sin embargo se encontró que en el pan de muerto seleccionado el contenido fue menor, esto es adecuado debido a que recordando que al almidón digerible se le considera comúnmente como la fracción menos saludable, ya que conduce a una hidrólisis rápida misma que conduce a aumentos rápidos de glucosa e insulina en la sangre, este factor puede conducir potencialmente a varios resultados negativos para la salud, como desarrollar enfermedades como diabetes mellitus tipo II, obesidad y enfermedades cardíacas (Dupuis *et al.*, 2019).

### 5.7 Relación de Eficiencia Proteica (PER) y Digestibilidad *in vivo*.

Se evaluó la relación de eficiencia proteica y la digestibilidad *in vivo* en ratas Wistar con una dieta de caseína como referencia, los resultados obtenidos se encuentran en la **Tabla 17**. En el **Anexo 3** se muestran los pesos y las imágenes de hígado y músculo de las ratas alimentadas con pan de muerto control y pan de muerto seleccionado.

**Tabla 17.** Relación de Eficiencia Proteica (PER), PER ajustado y Digestibilidad *in vivo* del pan de muerto control y pan de muerto seleccionado.

Muestra	PER	PER Ajustado	Digestibilidad <i>in vivo</i>
Pan de muerto control	0.99 <sup>a</sup>	0.77 <sup>a</sup>	87.97 <sup>a</sup>
Pan de muerto seleccionado	1.17 <sup>b</sup>	0.91 <sup>b</sup>	86.79 <sup>a</sup>

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Como se puede observar en la relación de eficiencia proteica existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre el pan de muerto control y el pan de muerto seleccionado, mientras que en la digestibilidad *in vivo* no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).

El pan de muerto seleccionado posee un valor superior de PER con respecto al pan de muerto control, lo cual nos indica que la utilización de la harina de amaranto aumentó el valor nutrimental y esto es debido a la calidad de la proteína y el aporte de una gran variedad de aminoácidos esenciales (Montero, 2015).

Por su parte en la *digestibilidad in vivo* no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque ambos valores indican una buena digestibilidad. Considerando el valor de digestibilidad de los productos lácteos del 95% y el de los cereales y derivados del 69 % (Suarez *et al.*, 2006), podemos observar que el valor de digestibilidad obtenido para el pan de muerto elaborado

con harina de amaranto se considera alto por lo cual nos indica que nuestro pan contiene proteínas de buena calidad.

### 5.8 Análisis de la calidad funcional del pan de muerto control y la formulación seleccionada.

Se realizó un análisis funcional del pan seleccionado y control (**Tabla 18**) para poder comparar estos productos.

**Tabla 18.** Análisis funcional del pan de muerto control y seleccionado.

Muestra	Fenoles (mgEAG/g)	Capacidad Antioxidante %	Almidón Resistente	Fibra Dietética
<b>Pan de muerto control</b>	1.46±0.028 <sup>a</sup>	30.64±0.38 <sup>a</sup>	4.97±0.07 <sup>a</sup>	3.8±0.04 <sup>a</sup>
<b>Pan de muerto 70-20-10 %</b>	2.29±0.15 <sup>b</sup>	72.33±1.38 <sup>b</sup>	8.43±0.33 <sup>b</sup>	14.59±0.13 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Como se puede observar en la **Tabla 18**, existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre todos los componentes funcionales del pan de muerto control comparado con el pan de muerto seleccionado.

Tanto el contenido de fenoles como la capacidad antioxidante se duplicó en el pan de muerto seleccionado, lo cual resulta beneficioso debido a que los antioxidantes frenan las reacciones de oxidación en las células a partir de las cuales se originan los nocivos radicales libres (Vilaplana, 2007), además dentro de los principales antioxidantes se encuentran los compuestos fenólicos y los flavonoides, su papel es clave en la reducción de enfermedades cardiovasculares, de tumores y prevención de enfermedades crónico-degenerativas.

Por su parte se puede observar que el contenido de fibra dietética y almidón resistente fue significativamente mayor en el pan de muerto seleccionado que en el pan de muerto control, lo cual resulta excelente recordando que el almidón resistente es efectivamente una fracción de fibra a base de almidón (Dupuis *et al.*, 2019) y esto es de importancia ya que la fibra dietética aumenta la saciedad, reduce la ingestión de alimentos y ayuda al control de peso corporal, además los ácidos orgánicos producidos por la fermentación de la fibra en el colon pueden proteger contra el cáncer de colon además de que la fibra soluble puede disminuir la absorción de carbohidratos simples favoreciendo los niveles de glucosa en sangre y disminuye las concentraciones del colesterol LDL (Almeida *et al.*, 2014).

## 5.9 Factores anti-nutrimientales.

Se determinó el contenido de los factores anti nutrimientales del pan de muerto control y el seleccionado (**Tabla 19**).

**Tabla 19.** Factores anti-nutrimientales del pan de muerto control y seleccionado.

Muestra	Taninos %	Acido Fítico %	Inhibidores de tripsina %
Pan de muerto Control	0.059 <sup>a</sup>	*ND	*ND
Pan de muerto 70-20-10 %	0.089 <sup>b</sup>	1.52	*ND

\*ND, No detectado.

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Como se puede observar el contenido de taninos fue superior en el pan de muerto seleccionado, pero cabe destacar que el contenido de taninos encontrado es bajo y no representa riesgo para la salud, porque se sabe que el efecto antinutritivo de los taninos se presenta en una dosis del 0.5 a 2 g/Kg por día (Vázquez *et al.*, 2012).

Por su parte, en el pan de muerto control no se detectó la presencia de ácido fítico, esto puede ser debido a que la harina de trigo utilizada para este proyecto es refinada por lo tanto este compuesto se elimina durante la molienda (Molfese *et al.*, 2006). Por otro lado, se puede observar que el ácido fítico se encuentra presente en el pan de muerto seleccionado, sin embargo, el contenido presente en él, no se considera un riesgo para la salud humana, pues los valores que se reportan como un riesgo para la salud son entre 400 mg/kg y 2750 mg/kg (Berga, 2016).

El contenido de inhibidores de tripsina no fue detectado en el pan de muerto control, ni en el pan de muerto seleccionado. Esto era algo esperado debido a que a pesar de que el amaranto contiene un pequeño porcentaje de este compuesto debemos recordar que estos factores pueden ser fácilmente destruidos por la aplicación de procesos térmicos como el calor o fermentación (Martínez *et al.*, 2010).

### 5.10 Prueba sensorial de nivel de agrado.

Por último, se realizó una prueba de nivel de agrado al pan de muerto seleccionado, los resultados se observan en la **Tabla 20** y la encuesta en el **Anexo 2**.

**Tabla 20.** Calificación y nivel de aceptación.

Formulación	Calificación	Aceptación
Pan de muerto 70-20-10 %	7.34	69

El producto (**Figura 58**), tuvo una buena aceptación y calificación por parte del consumidor para un producto en desarrollo, además el producto recibió muchos comentarios favorables por parte de los jueces como que tenía un sabor agradable y que se parecía al pan tradicional elaborado con harina de trigo.

Es importante destacar que el uso de la harina de amaranto no influyó en la aceptación del producto, pero su incorporación sí mejoró la calidad nutrimental del mismo.



**Figura 58.** Pan de muerto con amaranto.

## 6 Conclusiones.

- ✚ La harina integral de amaranto tuvo una mejor calidad química, nutrimental y funcional que la harina de trigo, por lo que al combinarlas se complementaron.
- ✚ Se logró elaborar un pan de muerto con buenas características físicas y sensoriales con las tres formulaciones evaluadas pero la formulación seleccionada como la mejor fue la que contenía 20% harina de trigo-70% harina de amaranto-10% gluten.
- ✚ El pan de muerto seleccionado presentó mejor calidad química, nutrimental y funcional que el control, ya que tuvo un mayor contenido de proteínas, cenizas y fibra cruda; una mejor digestibilidad *in vitro*, almidón digerible, y relación de eficiencia proteica; así como mayor capacidad antioxidante y contenido de fenoles, almidón resistente y fibra dietética.
- ✚ El producto seleccionado elaborado con harina integral de amaranto presentó una buena aceptación por parte de los consumidores, así como una aceptable calificación de 7.34 en una escala del 1 al 10.

## 7 Recomendaciones.

- ✚ Se recomienda realizar un análisis microbiológico al producto para determinar su inocuidad.
- ✚ Realiza un estudio de mercado para determinar la viabilidad con la que el producto podría comercializarse.

## 8 Referencias

- ✚ Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. (2018). Trigo cereal más cultivado alrededor del mundo. Disponible en: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/trigo-cereal-mas-cultivado-alrededor-del-mundo?idiom=es>
- ✚ A.O.A.C. (2005). Association Official Analytical Chemistry. Official Methods of Analysis. Eds Howitz W, Washington, D.C.
- ✚ Almeida., Aguilar. & Hervert. (2014). La fibra y sus beneficios a la salud. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 27(1), 73-76. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-07522014000100011&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522014000100011&lng=es&tlng=es).
- ✚ Ballat, F. (2014). Desarrollo de un producto de panificación mediante harina compuesta de trigo, mandioca y soja. Trabajo de fin de Máster en Tecnología y calidad en las industrias agroalimentarias. Universidad Pública de Pamplona. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/304827436\\_Desarrollo\\_de\\_un\\_producto\\_de\\_panificacion\\_mediante\\_harina\\_compuesta\\_de\\_trigo\\_mandioca\\_y\\_soja?channel=doi&linkId=577c019e08ae355e74f16922&showFulltext=true](https://www.researchgate.net/publication/304827436_Desarrollo_de_un_producto_de_panificacion_mediante_harina_compuesta_de_trigo_mandioca_y_soja?channel=doi&linkId=577c019e08ae355e74f16922&showFulltext=true)
- ✚ Bangladesh Agricultural Research Council. (2020). Directory of Annual Agricultural Research Programme of NARS Institutes. Disponible en: [http://barc.portal.gov.bd/sites/default/files/files/barc.portal.gov.bd/page/bb7127db\\_c366\\_4cfd\\_aab3\\_92c4f8eebc2a/2021-03-23-14-32-dd457d0b4125eb524e463903b816bb12.pdf](http://barc.portal.gov.bd/sites/default/files/files/barc.portal.gov.bd/page/bb7127db_c366_4cfd_aab3_92c4f8eebc2a/2021-03-23-14-32-dd457d0b4125eb524e463903b816bb12.pdf)
- ✚ Barquera, S., Campos, I. & Rivera, J. (2013). Mexico attempts to tackle obesity: the process, results, push backs and future challenges. *Centro de Investigación en Nutrición y Salud, Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca Morelos, México. obesity reviews* (2013) 14 (Suppl. 2), 69–78. Disponible en: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/52203/IDL-52203.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ✚ BBM. (2014). Mercado mundial de pan y productos de panadería. Recuperado el: 15 mayo del 2022. Disponible en: <https://magazinebbm.com/blog/world-bread-andbakery-products-market-1076>
- ✚ Beltran, R. (2016). Alimentos Funcionales. *Farmacia Profesional*, Vol. 30, Núm. 3. Fecha de consulta: 25 de agosto del 2022. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-alimentos-funcionales-X0213932416546681>
- ✚ Berga, F. (2016). Estudio de los efectos del fitato sobre la calificación cardiovascular en pacientes con la enfermedad renal crónica. [Tesis Doctoral]. Universitat de les Illes Balears. Disponible en:

[https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/148658/Berga\\_Montaner\\_Francisco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/148658/Berga_Montaner_Francisco.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- ✚ Bernardette, A. (2017) Manual del cultivo del trigo. Plant Nutrition Institute, Disponible en: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/9f61f86f928f631e0325830e006c3082/\\$FILE/Manual%20de%20Trigo%20Cap%206.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/9f61f86f928f631e0325830e006c3082/$FILE/Manual%20de%20Trigo%20Cap%206.pdf)
- ✚ Browne, E. (2020). Masa madre mundial. Oldways whole grains council. Recuperado el: 10 de julio del 2022. Disponible en: <https://wholegrainscouncil.org/blog/2020/08/global-sourdough>
- ✚ Bustos, D. (2015). Estudio de la sustitución parcial de la harina de trigo por la harina de amaranto crudo y cocido en la elaboración de pan. [Tesis para obtener el título de Ingeniera en Alimentos]. Universidad tecnológica equinoccial. Disponible en: <file:///C:/Users/ACER/Downloads/gluten.pdf>
- ✚ Calaveras, J. 2004. Nuevo tratado de panificación y bollería. Ediciones Mundi Prensa. Madrid-España.
- ✚ Calvo, M., López, O., Carranco, M., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum L.*). *Biotecnia*, 22(3), 116-124. Epub. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-14562020000300116](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-14562020000300116)
- ✚ Casas (2021). Amaranto ¿Por qué debes introducirlo a tu dieta?. Fecha de Consulta: junio 2018. Disponible en: <https://informaciongastronomica.com/amaranto-por-que-debes-introducirlo-en-tu-dieta/>
- ✚ Chaquilla, G., Balandrán, R., Mendoza, A. & Mercado, J. (2018). Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. *Ciencia UAT*. ISSN 2007-7521. 12(2): 137-147. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v12n2/2007-7858-cuat-12-02-137.pdf>
- ✚ Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. (2019). Trigo. Fecha de consulta: 30 mayo del 2022. Disponible en: <https://conacyt.mx/cibiogem/trigo>
- ✚ Concentradora Nacional de Plantas Ornamentales. (2022). Amaranto. Recuperado: 10 de septiembre del 2022. Disponible en: <https://conaplor.com.mx/catalogo/amaranto/>
- ✚ CUNNIF, P (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, USA
- ✚ Diaz, I. (2011). Alimentación en España. Historia y presente del pan. Importancia alimentaria y cualidades nutricionales. Distribución y Consumo. Disponible en:



[https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_DYC%2FDYC\\_2011\\_115\\_70\\_78.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_DYC%2FDYC_2011_115_70_78.pdf)

Disponible en:

Disponible en: <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/447/1/RI000263.pdf>

- ✚ Dupuis, JH, Liu, Q. (2019). Almidón de papa: una revisión de las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales. *Soy. J. Patata Res.* 96, 127–138. Disponible en: <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s12230-018-09696-2>
- ✚ Elizalde, A., Porrilla, Y., Chaparro, D. (2009). Factores antinutricionales en semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol. 7 No. 1. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a07.pdf>
- ✚ ESQUIVEL. S. 2005. Dietas modificadas en carbohidratos: implicaciones fisiológicas. *Rev. Costarricenses de salud Pública.* Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-14292005000100002](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292005000100002)
- ✚ Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2021). Trigo 2021. Panorama Agroalimentario Dirección de Investigación y Evaluación Económica y sectorial. Fecha de consulta: 20 de junio del 2022. Disponible en: <https://www.inforural.com.mx/wpcontent/uploads/2021/10/Panorama-Agroalimentario-Trigo-2021.pdf>
- ✚ Fierro, F. (2013). El amaranto como alternativa alimentaria para el mejoramiento nutricional del adulto/a mayor de la asociación de jubilados/ del iess de la ciudad de otavalo – provincia de Imbabura 2012. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2837/2/06%20NUT%20143%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>
- ✚ Flores, J., Corral, B., Osuna, P. & Hernández, J. (2021). Respuesta de variedades de trigo harinero en tres tipos de suelo del norte de México. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-13. e817. Disponible en: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/817/1292>
- ✚ Francie, D. (2017). Hace 8.000 años, 17 mujeres reproducidas por cada hombre. *Pacific Standard.* Recuperado 15 mayo de 2022. Disponible en: <https://psmag.com/environment/17-to-1-reproductive-success>
- ✚ García, V. (2018). La alimentación en la ciudad de México: el consumo de pan en el siglo XVIII. CIESAS. Disponible en: [https://www.estudioshistoricos.inah.gob.mx/revistaHistorias/wp-content/uploads/historias\\_19\\_75-82.pdf](https://www.estudioshistoricos.inah.gob.mx/revistaHistorias/wp-content/uploads/historias_19_75-82.pdf)
- ✚ Gómez, A. (2013). Selección de un proceso de transformación para la disminución de compuestos antinutrimientales en el grano y hojas de amaranto (*Amaranthus caudatus L.*) y sangorache (*Amaranthus hybridys L.*). Tesis para obtener el título de Ingeniería Agroindustrial. Escuela Politécnica

Nacional Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial. Disponible en: [https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/AGRARIAS\\_7/AGROINDUSTRIA/95.pdf](https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/AGRARIAS_7/AGROINDUSTRIA/95.pdf)

- ✚ Goñi, L., García, D., Mañas, E., Calixto, S. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food chemistry*, 56(4), 445-449
- ✚ Goñi, P., García, A., Calixto, S. (1997). Starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17 (3), 427-437.
- ✚ González, E. (2022). Semillas mejoradas, promotoras de una agricultura eficiente y con tecnología. Recuperado el: 30 de octubre del 2022. Disponible en: <http://hablemosdelcampo.com.mx/2022/08/29/semillas-mejoradas-promotoras-de-una-agricultura-eficiente-y-con-tecnologia/>
- ✚ Gonzalez. M. 2012. Evaluación fisicoquímica y capacidad antioxidante del aceite de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y estabilidad oxidativa de diferentes sistemas de encapsulación. Santiago de Querétaro, Querétaro
- ✚ Grandes, R. (2015). Caracterización morfológica y evaluación agronómica de 8 líneas de amaranto (*amaranthus sp.*) provenientes de rusia en el barrio tigualo (salcedo) y en el barrio las manzanas (sigchos). Tesis de grado. Universidad técnica de Cotopaxi. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2538/1/T-UTC-00074.pdf>
- ✚ Haug, W., Lantzsch, H., (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. *J. Sci. Food Agric*, 34, 14232-14261
- ✚ Hernández. G., Herrerías. G. 1998. Amaranto: historia y promesa. *Horizonte del Tiempo Vol. 1 Patrimonio Histórico de Tehuacán A. C. México.* 1998 529pp. Disponible en: <http://www.alternativas.org.mx/Amaranto.pdf>
- ✚ Hsu, H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D., Miller G.A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of food Science.* 42:1269-1275.  
[http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66\\_3/PDF/Amaranto.pdf](http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf)
- ✚ Instituto Mexicano del Seguro Social IMSS. (2019). Las calorías del pan de muerto. Recuperado: 20 abril del 2022. Disponible en: [https://twitter.com/tu\\_imss/status/1189196944704360448](https://twitter.com/tu_imss/status/1189196944704360448)
- ✚ Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas INPI. (25 de octubre de 2019). El origen del pan de muerto y las variedades regionales actuales. Fecha de consulta: 25 de mayo del 2022. Disponible en: <https://www.gob.mx/inpi/articulos/el-origen-del-pan-de-muerto-y-las-variedades-regionales?idiom=es>
- ✚ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2016). Eficiencia en el control químico de roya de la hoja y roya del tallo en cultivares de trigo pan. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/eficiencia-en-el-control-quimico-de-roya-de-la-hoja-y-roya-del-tallo-en-cultivares-de-trigo-pan>

- ✚ ISO 9648; (1988). Determinación del contenido de taninos en sorgo. International Organization of Standardizations, ISO/DIS 9648, 175-215.
- ✚ Jiménez. (2017). Caracterización morfológica, física y fenólica de cuatro variedades de amaranto (*Amarantus sp*) para las condiciones meteorológicas del cantón Cevallos. [Tesis de grado de Ingeniería agrónoma]. Universidad técnica de Ambato. Cevallos Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25899/1/Tesis-162%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20490.pdf>
- ✚ Kakade, M., Rackis, J., McGhee, J., & Puski, G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem*, 51, 376-381.
- ✚ Llandam. I. (2012). Barras nutricionales a base de amaranto. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil. Ecuador. [Tesis para obtener título de licenciado en gastronomía] Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6035/1/Gs040.pdf>
- ✚ Londoño, J. (2012). Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista. Capítulo 9. Parte III. Antioquia–Colombia.
- ✚ López, A. (2020). Amaranto: La planta mexicana que los españoles prohibieron durante la conquista. Muy Interesante. Recuperado: 25 julio del 2022. Disponible en: <https://www.muyinteresante.com.mx/historia/amaranto-espanoles-prohibieron-durante-la-conquista/>
- ✚ Maciejewska, A. & Skrzypek, K. (2022). Exportaciones agrícolas de Ucrania: ¿Qué está en juego a la luz de la invasión?. S&P Global Market Intelligence. Disponible en: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/mi/research-analysis/ukraine-agriculture-exports-what-is-at-stake.html>
- ✚ Manriquez, J.A. (1994). La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos, su aplicación en peces y la conservación del medio ambiente. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ab482s/ab482s08.htm#:~:text=La%20digestibilidad%20es%20uno%20de,digerible%20para%20que%20pueda%20ser>
- ✚ Mapes, E., El amaranto. (2015). Universidad Nacional Autónoma de México. Jardín Botánico del Instituto de Biología, México.
- ✚ Martínez, D., & Rodríguez, L. (2010). Determinación de los inhibidores de tripsina del frijol soya tostado y del subproducto torta de soya para evaluar el control de proveedores de la empresa de alimentos concentrados Contegral S.A. [Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera de Alimentos]. Universidad la Salle. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1615&context=ing\\_alimentos](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1615&context=ing_alimentos)

- ✚ Massari, Plencovich, Trouilh. (2017). Harina de amaranto y semillas de lino en la elaboración de Scones: aportando aminoácidos y ácidos grasos esenciales. Tesis Licenciatura en nutrición. Facultad de ciencias médicas. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4729/Massari-otros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ✚ Massieu, G., Guzmán, J., Cravioto, R. & Calvo, J. (2002). Determinación de algunos aminoácidos esenciales en algunos alimentos mexicanos crudos y cocinados. Instituto de salubridad y enfermedades tropicales, departamento de nutriología. Disponible en: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/11794/v29n6p614.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ✚ Matías, Peña, Torres, Espinoza & Pacheco. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus* spp.). Journal of negative & no positive results. Disponible en: <https://www.jonnpr.com/PDF/2410.pdf>
- ✚ Mesas, J. Alegre, M. (2009). El pan y su proceso de elaboración CYTA - Journal of Food. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/11358120209487744>
- ✚ Molfese, M. Seghezze, E. (2006). Calidad de trigo pan. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Buenos Aires Sur. Disponible: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_-\\_manual\\_de\\_trigo\\_pan.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_manual_de_trigo_pan.pdf)
- ✚ Montero, K., Moreno, R., Segundo, M., & Sánchez, A. (2015). Evaluación de paneles enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos. Asociación Interciencia. 40 (7), 473-478. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33940000006.pdf>
- ✚ Morales, J., Vazquez, N., & Bressani, R. (2009). El amaranto características y aporte nutricio. Trillas.
- ✚ Morales, V., Martínez, E., Ortega, L. & Ortega, A. (2018). Evaluación funcional de formulaciones de harina refinada de trigo y harina de integral de quinua para productos de panificación. Revista del Diseño Innovativo. Vol.2 No.2 22-26. Disponible en: [https://www.ecorfan.org/taiwan/research\\_journals/Diseno\\_Innovativo/vol2num2/Revista\\_Diseno\\_Innovativo\\_V2\\_N2\\_3.pdf](https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Diseno_Innovativo/vol2num2/Revista_Diseno_Innovativo_V2_N2_3.pdf)
- ✚ Moreno, I., Ramírez, A., Plana, R. E. Iglesias, L. (2001). El cultivo del trigo. Algunos resultados de su producción en Cuba. Cultivos Tropicales, 22 (4), 55-67. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193230162009.pdf>
- ✚ Muy interesante. (2021). Pan de muerto: la historia detrás del mítico platillo tradicional del día de muertos. Fecha de consulta: 13 de junio del 2022. Disponible en: <https://www.muyinteresante.com.mx/historia/historia-pan-muerto/>

- ✚ Native Plant Trust. (2022). *Amaranthus retroflexus*- amaranto de raíz roja. Recuperado: 20 de agosto del 2022. Disponible en: <https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/amaranthus/retroflexus/>
- ✚ New Food. (2019). Consumer reports señala preocupaciones de seguridad al comprar suplementos. Recuperado: 15 julio del 2022. Disponible en: <https://www.newfoodmagazine.com/news/98356/safety-concerns-when-buying-supplements/>
- ✚ Pan de calidad. (2018). Estructura del grano: salvado, endospermo y germen. Recuperado el: 20 mayo del 2022. Disponible en: <https://pandecalidad.com/estructura-del-grano-salvado-endospermo-y-germen>
- ✚ Paredes, A. (2013). Estudio de *Triticum aestivum* para la concepción de un método estándar de extracción y caracterización de gliadinas. [Tesis de licenciatura en Ingeniero en Alimentos]. Universidad Austral de Chile. Fecha de consulta: 15 de mayo del 2022. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/fap227e/doc/fap227e.pdf>
- ✚ Prieto, J. (2022). Estudio del proceso de expansión de semillas de amaranto mediante espectros dieléctricos. Universidad politécnica de valencia. Disponible en: [https://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/691463/3/Prieto\\_Jose\\_Manuel.pdf](https://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/691463/3/Prieto_Jose_Manuel.pdf)
- ✚ Puma, A. (2017). Caracterización de flujos de harina de trigo (*Triticum aestivum*) de cada pasaje de molienda en “Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda. Universidad técnica de Ambato. [Tesis de Licenciatura de Ingeniera en Alimentos]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25812/1/AL%20632.pdf>
- ✚ Rama Rao, M. V., Tara, M. R., Krishnan, C. K. (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology*, 11, 213-216.
- ✚ Ramirez, A. (2015). Receta de pan de muerto tradicional y con mantequilla. México desconocido. Recuperado: 15 mayo del 2022. Disponible en: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/pan-de-muerto.html>
- ✚ Ramírez, J. (2012). Análisis Sensorial; Pruebas Orientadas al Consumidor. *ReCiTeIA*, 84-97. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/151403329/2012-Ramirez-Navas-J-S-Analisis-Sensorial>
- ✚ Ramos, F. (2013). Maíz, trigo y arroz los cereales que alimentan al mundo. Universidad Autónoma de Nuevo León. Disponible: <https://eprints.uanl.mx/3649/1/maiztrigoarroz.pdf>
- ✚ Recalde., Fierro. (2013). El amaranto como alternativa alimentaria para el mejoramiento nutricional del adulto/a mayor de la asociación de jubilados/ del

- less de la ciudad de otavalo – provincia de imbabura 2012. [Tesis para obtener el título de Licenciados en nutrición y salud comunitaria]. Universidad Tecnica del Norte. Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2837/2/06%20NUT%20143%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>
- ✚ Rodas., Brenda., & Bressani, Ricardo. (2009). Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 82-87. Recuperado en 06 de diciembre de 2022, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222009000100013&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222009000100013&lng=es&tlng=es).
  - ✚ Safont. (2003). Triptófano aminoácido amigo. Dietética y nutrición revisiones monográficas. Disponible en: [file:///C:/Users/ACER/Downloads/Dialnet-Triptofano-4956301%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ACER/Downloads/Dialnet-Triptofano-4956301%20(1).pdf)
  - ✚ Sampayo. (2011). Determinación de fibra cruda en diez especies vegetales a diferentes tiempos de cocción. [Tesis para obtener el título de Ingeniera en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Universidad autónoma agraria Antonio narro. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/466/61738s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  - ✚ Statista Research Department. (2021). México consumidores de pan de muerto 2019-2020. Fecha de consulta: 25 de mayo del 2022. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/1130702/consumo-pan-de-muerto-mexico/#:~:text=M%C3%A9xico%3A%20consumidores%20de%20pan%20de%20muerto%202019%2D2020&text=Seg%C3%BAn%20una%20encuest a%20llevada%20a,declararon%20no%20seguir%20dicha%20tradici%C3%B3n>.
  - ✚ Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Amaranto un cultivo ancestral y de alto valor nutricional. 13 de octubre de 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/amaranto-un-cultivo-ancestral-y-de-alto-valor-nutricional?idiom=es#:~:text=Hoy%20prevalece%20principalmente%20en%20Puebla,Morelos%20con%20menos%20del%201%25>.
  - ✚ Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2012). El Cultivo del trigo. Fecha de consulta: 24 de junio del 2022. Disponible en: <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/EICultivoTrigo.pdf>
  - ✚ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). Amaranto, planta de profunda y profusa raíz en México. Recuperado: 16 de agosto del 2022. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/amaranto-planta-de-profunda-y-profusa-raiz-en-mexico?idiom=es>

- ✚ Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017). La quinoa: super alimento del futuro que se produce en México. Recuperado: 10 julio del 2022. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-quinoa-super-alimento-del-futuro-que-se-produce-en-mexico?idiom=es>
- ✚ Silva, S. (2007). Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) cultivado en San Luis Potosí. [Tesis de grado de doctor en ciencias]. Instituto potosino de investigación científica y tecnológica, A.C.. Disponible en: <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/767/3/TDIPICY TS5C32007.pdf>
- ✚ Sistema integral de comunicación. (2019). *Amaranthus caudatus* subsp. *Mantegazzianus* como nuevo hospedante de *candidatus phytoplasma hispanicum*. Recuperado: 19 junio del 2022. Disponible en: <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=4088>
- ✚ Sistema integral de comunicación. (2020). Aporta México 14 variedades de amaranto. Recuperado: 10 de mayo del 2022. Disponible en: <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=6036>
- ✚ Sisti, M. (2020). Proteínas y fibra de amaranto: Actividad sobre el metabolismo de colesterol. [Tesis Doctoral de la Facultad de Ciencias Exactas]. Universidad nacional de la plata. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/103266/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/103266/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ✚ Suárez, M., Kizlansky, A., & López, L. (2006). Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición Hospitalaria*, 21(1), 47-51. Recuperado el 09 de febrero de 2023, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112006000100009&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000100009&lng=es&tlng=es).
- ✚ The Grace Museum del National Endowment for the Humanities. (2021). Día de los muertos: símbolos y tradiciones. Recuperado: 20 mayo del 2022. Disponible en: <https://thegracemuseum.org/learn/2020-11-4-dia-de-los-muertos-symbols-and-traditions/>
- ✚ Trino, R., Grados, R., Gutiérrez, M., Mamani, D., Pérez, J., Magariños, A. & Gonzales, E. (2017). Evaluación del aporte nutricional del amaranto (*amaranthus caudatus* linnaeus), quinua (*chenopodium quinoa* willd) y tarwi (*lupinus mutabilis* sweet) en el desayuno. *Revista CON-CIENCIA*, 5(2), 15-28. Recuperado en 13 de febrero de 2023, de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-02652017000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-02652017000200003&lng=es&tlng=es).

- ✚ Valadez, M., Ortega, A., Carballo, L. Fucikovsky. (1990). Flavonoides de la testa del frijol como inhibidores de dos bacterias fitopatógenas. *Agrociencia, Serie Protección Vegetal*. Vol.1 (2):75-91
- ✚ Vazquez, A., Alvarez, E., Lopez, J., Wall, A., & Rosa, A. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia Chihuahua*. Vol. VI, No. 2. Disponible en: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/678/740>
- ✚ Vega, Ruiz. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología* vol. 13 número 38. pp 27 – 32. Disponible en: [https://www.utm.mx/edi\\_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf](https://www.utm.mx/edi_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf)
- ✚ Velas Magazine. (7 de octubre del 2021). Top 10 del pan dulce mexicano. Magazine velas. Disponible en: <https://magazine.velasresorts.com.mx/forkknife/top-10-de-pan-dulce-mexicano/>
- ✚ Vilaplana, Montse. (2007). Antioxidantes presentes en los alimentos. Vitaminas, minerales y suplementos. Elsevier. Vol. 26. Núm. 10. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-antioxidantes-presentes-alimentos-vitaminas-minerales>
- ✚ Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 45(3), 271-278. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- ✚ Warleta, F., Ruiz, J., Campos, M., Serrano, M., & Gaforio, J. (2007). El Escualeno, componente minoritario del aceite de oliva, y su relación con el cáncer. Congreso de la cultura del olivo. ISBN 978-84-96047-57-0, págs. 765-782. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2523882>
- ✚ Xoconostle. (2020). Panadería Mexicana del siglo XX. El Xoconostle food blog. Recuperado el: 30 julio del 2022. Disponible en: <https://elxoconostle.com/2020/04/14/panaderia-mexicana-del-siglo-xx/>



## Anexos.

### Anexo 1.

#### Prueba de preferencia.

#### PRUEBA SENSORIAL DE PREFERENCIA.

Edad: \_\_\_\_\_

Sexo: H M

Fecha: \_\_\_\_\_

NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba y posteriormente entre degustación consuma una porción de agua.

INSTRUCCIONES: Pruebe las muestras y ordene según su preferencia, otorgándole un valor del 1 al 3, considerando 1= es la que menos le gusta y 3= es la que más le gusta. No se permiten empates. En el espacio de abajo, explique brevemente porque tomo esa decisión.

MUESTRAS                      190                      225                      310

\_\_\_\_\_

¿Porqué?

\_\_\_\_\_ ¡GRACIAS!

#### Claves utilizadas.

Muestra	Clave
Trigo 40 %, Amaranto 50 %, Gluten 10%	190
Trigo 20 %, Amaranto 70 %, Gluten 10%	225
Amaranto 90 %, Gluten 10%	310

## Resultados prueba sensorial de preferencia.

Juez	190	225	310	Juez	190	225	310	Juez	190	225	310	Juez	190	225	310
1	1	3	2	32	3	2	1	64	2	1	3	96	1	3	2
2	3	2	1	33	3	2	1	65	1	3	2	97	1	3	2
3	1	3	2	34	1	2	3	66	2	3	1	98	1	3	2
4	1	3	2	35	2	3	1	67	1	3	2	99	3	2	1
5	2	3	1	36	2	1	3	68	3	1	2	100	2	3	1
6	2	1	3	37	3	1	2	69	3	2	1	Total	206	211	183
7	1	2	3	38	3	2	1	70	3	1	2				
8	3	2	1	39	1	2	3	71	2	1	3				
9	2	3	1	40	1	3	2	72	3	2	1				
10	3	1	2	41	2	3	1	73	2	3	1				
11	2	3	1	42	3	1	2	74	3	1	2				
12	1	2	3	43	1	2	3	75	1	2	3				
13	1	3	2	44	3	2	1	76	3	2	1				
14	1	2	3	45	3	2	1	77	2	1	3				
15	3	2	1	46	3	2	1	78	3	2	1				
16	3	1	2	47	1	3	2	79	3	1	2				
17	2	1	3	48	1	3	2	80	2	3	1				
18	3	1	2	49	3	1	2	81	2	3	1				
19	1	3	2	50	1	3	2	82	3	1	2				
20	1	3	2	51	1	3	2	83	1	2	3				
21	1	3	2	52	1	2	3	84	2	1	3				
22	1	2	3	53	2	3	1	85	1	2	3				
23	3	2	1	54	3	1	2	86	3	2	1				
24	3	2	1	55	3	2	1	87	2	3	1				
25	3	1	2	56	1	3	2	88	3	2	1				
26	1	2	3	57	2	3	1	89	1	2	3				
27	3	2	1	58	2	1	3	90	1	3	2				
28	1	2	3	59	2	1	3	91	3	2	1				
29	2	3	1	60	3	2	1	92	2	3	1				
30	2	3	1	61	3	2	1	93	3	1	2				
31	3	2	1	62	1	3	2	94	3	2	1				
32	3	2	1	63	3	1	2	95	2	1	3				

## Anexo 2

### PRUEBA SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO.

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: H M Fecha: \_\_\_\_\_

NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba.

INSTRUCCIONES: Pruebe el producto “Pan de Muerto” y sobre la línea indique con una “X” su nivel de agrado hacia el producto. En el espacio de abajo, explique brevemente porque tomo esta decisión.

#### Escala

\_\_\_\_\_

Disgusta mucho	Es indiferente	Gusta mucho
----------------	----------------	-------------

¿Porqué? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ ¡Gracias!

#### Escala utilizada

##### Calificación:

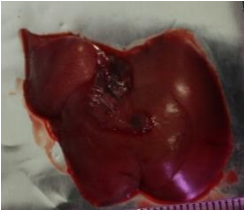





- Gusta mucho = 10
- Es indiferente = 5
- Disgusta mucho = 0

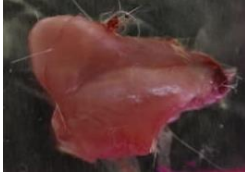
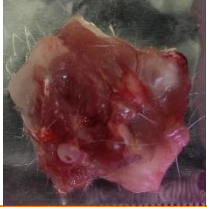

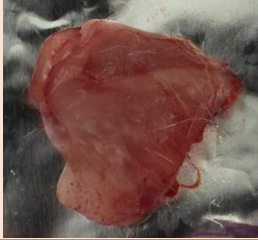
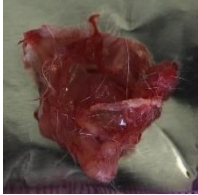
### Resultados prueba sensorial de preferencia.

# JUEZ	CALIFICACIÓN	# JUEZ	CALIFICACIÓN	# JUEZ	CALIFICACIÓN
1	10	36	8.8	71	5.5
2	10	37	8.7	72	5.5
3	10	38	8.6	73	5.4
4	10	39	8.6	74	5.3
5	10	40	8.6	75	5.3
6	10	41	8.6	76	5.3
7	10	42	8.6	77	5.2
8	10	43	8.5	78	5.2
9	10	44	8.5	79	5.2
10	10	45	8.5	80	5.2
11	10	46	8.5	81	5.2
12	10	47	8.5	82	5.2
13	10	48	8.4	83	5.1
14	9.9	49	8.3	84	5.1
15	9.9	50	8.3	85	5.1
16	9.7	51	8.2	86	5
17	9.5	52	8.2	87	5
18	9.5	53	8.1	88	5
19	9.3	54	8	89	5
20	9.2	55	7.5	90	5
21	9.1	56	7.5	91	4.3
22	9.1	57	7.5	92	3.9
23	9	58	7.4	93	3.8
24	9	59	7.1	94	3.7
25	9	60	7.1	95	3.3
26	8.9	61	7	96	3.3
27	8.9	62	7	97	3.2
28	8.9	63	6.9	98	1.8
29	8.8	64	6.7	99	1.5
30	8.8	65	6.7	100	1.5
31	8.8	66	6.6	PROMEDIO	7.32
32	8.8	67	6.5		
33	8.8	68	6.4		
34	8.8	69	6.3		
35	8.8	70	5.6		

### Anexo 3.

**Pesos y fotos de hígados y músculos de ratones alimentados con dieta de pan de muerto control y pan de muerto seleccionado.**

Dieta con pan tipo pan de muerto con amaranto.			Dieta con caseína como proteína control.		
# Rata	Peso (g)	Fotografía del hígado	# Rata	Peso (g)	Fotografía del hígado
1	3		1	6.36	
2	3.26		2	6.54	
3	3.44		3	5.49	

Dieta con pan tipo pan de muerto con amaranto.			Dieta con caseína como proteína control.		
# Rata	Peso (g)	Fotografía del musculo	# Rata	Peso (g)	Fotografía del musculo
1	2.41		1	5.4	
2	2.06		2	5.5	
3	2.26		3	6.24	