



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

---

---

**Elaboración de un pan tipo “cocol”  
complementado con harina de amaranto (*Amaranthus  
hypochondriacus*).**

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA  
**ANA BELEN RODRIGUEZ GUTIERREZ**

ASESOR:  
**DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE**

COASESORA:  
**I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA**

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

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 y Examen Profesional**

Elaboración de un pan tipo "cocol" complementado con harina de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*).

Que presenta la pasante: **Ana Belen Rodriguez Gutierrez**  
Con número de cuenta: **417076522** 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 21 de Abril de 2022.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
<b>VOCAL</b>	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
<b>SECRETARIO</b>	Dr. Enrique Martínez Manrique	
<b>1er. SUPLENTE</b>	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Dra. Alma Adela Lira Vargas	

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



**EL PRESENTE TRABAJO SE  
REALIZÓ EN EL LABORATORIO DE  
BIOQUÍMICA Y FISIOLOGÍA DE  
GRANOS DE LA FES-CUAUTITLÁN  
CON EL APOYO DEL PROGRAMA  
UNAM-DGAPA PAPIME  
CLAVE:200522 Y DEL PROGRAMA  
DE CÁTEDRAS DE INVESTIGACIÓN  
CI-2253**

## AGRADECIMIENTOS

- ▮ A DIOS, por haberme permitido llegar hasta aquí, gracias por todo lo que has hecho en mi vida y en la de mi familia, por nunca dejarme sola y por dejarme cumplir esta meta.
- ▮ A mis padres, ISRAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ y ANGELINA GUTIÉRREZ MONDRAGÓN, por el apoyo y amor que me han brindado a lo largo de mi vida, gracias a su esfuerzo día con día y la ayuda de Dios hoy estoy aquí.
- ▮ A mi hermano, JOEL RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ y mis bendis MANCHAS RAMÓN NEGRO REBELDE, JUAN MARCOS VENUSTIANO (QEPD) y TANIA EDUVIJES, por siempre sacarme una sonrisa y de vez en cuando hacerme enojar, son los perritos más preciosos del mundo los quiero mucho.
- ▮ A mi tía MARGARITA GUTIÉRREZ MONDRAGÓN, por también estar presente y no dudar en ofrecer tu apoyo en cualquier situación que pueda surgir.
- ▮ A mi asesor, el Dr. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE, por compartirme su conocimiento y apoyarme en este proyecto, por los buenos momentos, bromas y convivios en el laboratorio. Profe aprenda a conocer a la chaviza para que entienda los memes que le mandamos y no se asuste cuando le hablen sobre unos becerros.
- ▮ A mi coasesora, la I.A VERÓNICA JIMÉNEZ VERA, por su paciencia al enseñarme todo lo necesario y explicarme cualquier duda siempre con disposición y paciencia, y por explicarle al profe las bromas de la chaviza jaja usted si está a la onda.
- ▮ A mis compañeros y amigos de laboratorio, futuros I.A's y Q.A, NATALY RAMÍREZ, DESSIREE VERA, DIEGO MANCILLA y MARIBEL CARRILLO, por hacer mis días en el laboratorio más amenos y divertidos, nuestras jornadas de 7 horas no se hacían pesadas ni aburridas gracias a ustedes.
- ▮ A mis amikas, KARLA HERNÁNDEZ y AHIDE MONDRAGÓN, por hacer mis días en la FESC más llevaderos y bonitos, Karliita que desde primer semestre compartimos clases, equipos, anécdotas y risas, y Ahidecilla que pensé que eras muy diferente, pero resultaste ser una persona muy cool y te nos uniste hasta acabar la carrera. Equipo Dinamita las TQM.
- ▮ A la UNAM y a la FES Cuautitlán, por abrirme las puertas en la máxima casa de estudios y poder prepararme para ser un buen profesionista.



## Resumen

<b>Introducción</b>	<b>9</b>
<b>1. Antecedentes</b>	<b>11</b>
1.1. Historia del pan en México	11
1.2 Trigo	11
1.2.1. Origen	12
1.2.2. Clasificación	12
1.2.3. Estructura	13
1.2.4. Composición química	15
1.2.5. Harina de trigo	16
1.2.5.1 Composición química de la harina de trigo	16
1.2.5.2. Elaboración de harina de trigo	17
1.2.5.3. Efectos en la salud	20
1.3 Cocol	21
1.4. Amaranto	23
1.4.1. Origen	24
1.4.2 Morfología	24
1.4.3. Composición química del amaranto	25
1.4.4. Propiedades nutrimentales	26
1.4.5. Amaranto como alimento funcional	27
1.4.6. Harina de amaranto	27
<b>2. Desarrollo experimental</b>	<b>30</b>
2.1. Objetivos	30
2.2. Cuadro metodológico	31
2.3. Metodología	33
2.3.1. Material biológico	33
2.3.2. Análisis químico proximal	33
2.3.2.1. Humedad	33
2.3.2.2. Grasa	34
2.3.2.3. Proteína	34
2.3.2.4. Fibra	35
2.3.2.5. Cenizas	36
2.3.2.6. Carbohidratos	37
2.3.3. Elaboración del pan tipo cocol	37
2.3.4. Diagrama de proceso	38



# ÍNDICE

2.3.5. Características nutrimentales	39
2.3.5.1. Determinación de Triptófano	39
2.3.5.2. Digestibilidad <i>in vitro</i>	40
2.3.5.3. Relación de Eficiencia Proteica (PER)	40
2.3.5.4. Digestibilidad <i>in vivo</i>	41
2.3.5.5. Determinación de almidón total	41
2.3.5.6. Determinación de almidón digerible	41
2.3.6. Características funcionales	42
2.3.6.1. Determinación de fibra dietética	42
2.3.6.2. Capacidad antioxidante	42
2.3.6.3. Determinación de fenoles	43
2.3.6.4. Determinación de almidón resistente	44
2.3.7. Análisis sensorial	44
2.3.7.1. Determinación de volumen	44
2.3.7.2. Prueba sensorial de preferencia	44
2.3.7.3. Prueba sensorial de nivel de agrado	45
2.3.8. Análisis estadístico	45
<b>3. Análisis y discusión de resultados</b>	<b>45</b>
3.1 Análisis químico proximal de la materia prima	45
3.2. Análisis nutrimental de la materia prima	46
3.3. Análisis funcional de la materia prima	47
3.4. Cocolos y resultados de la prueba sensorial de preferencia	48
3.5. Análisis químico proximal del cocol control y seleccionado	50
3.6. Análisis nutrimental del cocol control y seleccionado	51
3.7. Relación de Eficiencia Proteica (PER) y Digestibilidad <i>in vivo</i>	52
3.8. Análisis funcional del cocol control y seleccionado	53
3.9. Análisis sensorial de nivel de agrado	55
<b>Conclusiones</b>	<b>56</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>66</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del grano de trigo entero	15
Tabla 2. Composición química de harina de trigo	16
Tabla 3. Composición química del amaranto	25
Tabla 4. Composición de aminoácidos esenciales de semillas de tres especies de amaranto en (g/100g de proteína)	26
Tabla 5. Cantidades de harina de trigo y amaranto propuestas.	37
Tabla 6. Ingredientes para la elaboración de pan tipo cocol	37
Tabla 7. Análisis químico proximal de harina de trigo y harina de amaranto	45
Tabla 8. Análisis nutrimental de harina de trigo y amaranto	46
Tabla 9. Análisis funcional de harina de trigo y amaranto	47
Tabla 10. Cocolos elaborados con las diferentes formulaciones propuestas y su volumen	49
Tabla 11. Resultados de la evaluación sensorial de preferencia de las diferentes formulaciones del cocol	49
Tabla 12. Análisis químico proximal del cocol control y seleccionado	50
Tabla 13. Análisis nutrimental del cocol control y seleccionado	51
Tabla 14. Relación de Eficiencia Proteica (PER), PER ajustado y Digestibilidad <i>in vivo</i> del cocol seleccionado.	52
Tabla 15. Análisis funcional del cocol control y seleccionado	53
Tabla 16. Calificación y nivel de aceptación del cocol seleccionado	55



# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de trigo	12
Figura 2. Estructura del grano de trigo.	14
Figura 3. Diagrama de proceso de harina de trigo	18
Figura 4. Trituración del grano de trigo con rodillos de superficie estriada	19
Figura 5. Grano molido a diferentes salidas en un cernidor	20
Figura 6. Cocolos	22
Figura 7. Planta de amaranto	23
Figura 8. Diagrama de proceso para la obtencion de harina de amaranto	28
Figura 9. Proceso de elaboración del pan tipo cocol con amaranto	38



## Resumen

El cocol del náhuatl, *cocolli*, es un pan de dulce en forma de rombo que puede estar o no cubierto con ajonjolí. Es típico de las regiones de Tlaxcala, Hidalgo y el Estado de México. El pan dulce es de gran consumo dentro de las familias mexicanas y al ser elaborado con harina de trigo refinada la mayoría de estos productos no aportan nutrientes variados sino principalmente carbohidratos, lo cual ha contribuido a el aumento en el sobrepeso y la obesidad en México. Para controlar este problema se sugiere la elaboración de los mismos productos de trigo combinándolos con harinas de granos nutritivos como el amaranto. El amaranto tiene un alto contenido de proteína rica en aminoácidos esenciales como lisina, triptófano y metionina. Igualmente, su contenido de grasa aporta ácido linoleico que es un ácido graso esencial en la nutrición humana. Es por lo que el objetivo del presente trabajo fue desarrollar una formulación para la elaboración de un pan tipo cocol adicionado con amaranto, mediante la modificación de las cantidades de harina de amaranto y trigo para la obtención de un producto sensorialmente aceptable y con un aumento en su valor nutricional respecto al pan tradicional. Se utilizó como materia prima la harina de trigo comercial de la marca TRES ESTRELLAS® y amaranto variedad Tulyehualco cosecha 2014 de la especie *A. hypochondriacus*. Se evaluaron tres formulaciones diferentes en las cuales se varió el porcentaje de harinas (30% amaranto y 60% trigo, 50% amaranto y 40% trigo, 70% amaranto y 20% trigo, agregando 10% de gluten a las 3 formulaciones) y se seleccionó la mejor mediante una prueba sensorial de preferencia. A la formulación seleccionada se le realizó el análisis químico proximal (Humedad, proteínas, grasa, cenizas y fibra, según el A.O.A.C. 2002) y determinación de carbohidratos por diferencia, análisis nutrimental (digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, triptófano, almidón total y digerible y Relación de Eficiencia Proteica), y funcional (fenoles, capacidad antioxidante, almidón resistente, fibra dietética). La formulación seleccionada fue 30 % harina de amaranto, 60 % harina de trigo y 10 % de gluten, la cual presentó alto contenido de proteínas (26.25%) mayor que el cocol control (19.45 %), así también, presentó una muy buena digestibilidad *in vitro* (94.22 %) y menor contenido de almidón digerible (cocol seleccionado= 45.09 %; cocol control= 59.25 %), igualmente, tuvo un contenido de fenoles (cocol seleccionado= 2.433 mg EAG/ g mtra; cocol control= 1.243 mg EAG/ g mtra), fibra dietética (cocol seleccionado= 10.51 %; cocol control= 8.94 %) y una capacidad antioxidante (cocol seleccionado= 74.678 %; cocol control= 34.95 %) mayor. Obtuvo una buena aceptación por parte de los consumidores con un 93.19 % y un puntaje de 8.99 en una escala del 1 al 10 dentro de la prueba sensorial de nivel de agrado. Por lo tanto, concluimos que el cocol con amaranto presentó mejor calidad química, nutrimental y funcional que el control elaborado solo con trigo y es sensorialmente aceptado.



## Introducción

Tanto los hábitos como los estilos de vida juegan un papel fundamental en la prevención y control de la obesidad y el sobrepeso, actualmente México ocupa el segundo lugar a nivel mundial en cuanto a población obesa o con sobrepeso, siendo la población de menores recursos la más vulnerable frente a esta problemática (Villalpando, 2009).

El exceso de peso en el ser humano representa un importante factor de riesgo para varias enfermedades crónicas no transmisibles como la diabetes mellitus tipo 2, las enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cánceres. Las enfermedades crónicas asociadas a la transición nutricional, la diabetes y enfermedad cardiovascular constituyen los problemas de mayor impacto en la población adulta de nuestro país (Villalpando, 2009).

Los malos hábitos alimenticios y la alta ingesta de productos elaborados a base de harina refinada de trigo traen consigo muchas veces este tipo de problemas relacionados con la obesidad ya que la harina blanca se obtiene al apartar el salvado y la cáscara del grano, pasando por un proceso de refinamiento donde se separan todos los componentes del trigo, como vitamina E, ácidos grasos esenciales y minerales como el potasio, el magnesio, hierro, zinc, etc. y es la harina que más se consume entre la mayoría de la población mundial, pero que carece de los nutrientes importantes de los que ha sido desprendida en su proceso de refinamiento, además cuenta con un alto índice glucémico (ASERCA, 2019).

La harina refinada de trigo se utiliza en la elaboración de una gran variedad de productos de panificación, entre los cuales se encuentra el cocol, un pan dulce tradicional popular entre la población mexicana y que poco a poco ha disminuido su consumo y producción, por eso se quiere recuperar la importancia que tuvo en el pasado, de esta manera evitando que se pierda una parte importante de la gastronomía mexicana que ha estado presente por generaciones de muchas familias, incluso desde tiempos anteriores a la conquista española. Este pan se elabora con harina de trigo, piloncillo, huevo, mantequilla y anís, por lo que tiene alto contenido de azúcar al ser elaborado con harina refinada de trigo de bajo contenido de proteína, fibra y minerales (UNAM, 2020).

Una forma de mejorar la calidad nutrimental de este tipo de productos panificados es complementarlos con harinas de granos con alta calidad nutrimental y/o funcional. Un alimento funcional es aquel que además de su valor nutritivo, contiene componentes biológicamente activos que aportan algún efecto añadido y beneficioso para la salud y reducen el riesgo de contraer ciertas enfermedades (Beltrán, 2016).





Dentro de los alimentos nutritivos y funcionales podemos encontrar al amaranto; contiene aminoácidos esenciales que no tienen los cereales y no están presentes en leguminosas. El amaranto también se ha reconocido por sus contenidos altos de vitaminas (riboflavina, niacina), minerales (calcio, hierro y magnesio) y de escualeno presente en el aceite de amaranto (Barba, 2021).

Los compuestos funcionales que tiene el amaranto son; su fibra dietética, compuestos antioxidantes como el escualeno, y péptidos bioactivos que pueden disminuir la presión arterial, inhibir la enzima dipeptidil peptidasa IV (DPPIV), enzima que actualmente es el blanco terapéutico en tratamientos para la diabetes. Además, investigaciones preliminares en estudios clínicos, indican que el consumo de amaranto es capaz de disminuir las hormonas relacionadas con la obesidad (Barba, 2021).

Además, el amaranto, por sus características organolépticas como el color blanco pálido, sabor y aroma agradable, pueden mezclarse bien con la mayoría de los platillos tradicionales, sin alterar su sabor. En general niveles de 25% a 30 % de harina de grano de amaranto a 70 % - 75 % de harina de trigo mejoran la calidad del producto (Carpio, 2009).





## **1. Antecedentes**

### **1.1. Historia del pan en México**

Hablar del pan y la gastronomía mexicana es algo que va más allá del ámbito culinario, ha llegado a formar parte de nuestra cultura y nuestras tradiciones, y junto con estas su elaboración y consumo ha evolucionado y trascendido a lo largo de cientos de años.

Exactamente, no se sabe cuándo fue el comienzo de la panificación, aunque hay evidencias arqueológicas de que, en la prehistoria, hacia el año 75,000 a.C se molían semillas que mezcladas con agua formaban una masa; pero fue hasta aproximadamente el año 15,000 a.C cuando el pan empezó a formar parte de la dieta por lo menos de los europeos.

El pan dentro de la dieta mexicana está ligado a la conquista española, durante esta, el trigo fue uno de los nuevos productos introducidos a nuestro país junto con el proceso de transformación de este en pan. Los panes eran vendidos masivamente y a finales del siglo XVIII llegan a México los primeros maestros europeos de panadería y pastelería, principalmente de Francia e Italia, con esto, se establecen los primeros talleres de pan constituidos por familias, los cuales, fueron convirtiéndose en empresas productoras para el consumo de la población en general (Europan, 2020; García, 1988).

De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA), el inicio de la industria panadera data de 1524. Ya en 1525 existían varias panaderías en la ciudad de México sujetas a reglamentaciones sobre el peso y la venta del pan. Las panaderías de la ciudad dependían legalmente del Tribunal de Fiel Ejecutoría, órgano dependiente del Cabildo municipal encargado del abasto a la ciudad de productos de primera necesidad y de fijar precios topes a los mismos, considerando para esta época, al pan como un producto básico en la dieta de la población (Europan, 2020).

El trigo formaba parte de la dieta de la población en general, no era consumido solamente por los españoles o “blancos”, sino también por los indios y mestizos, que significaban un 50 % de este consumo pues estos lo habían incorporado entre sus alimentos esenciales (CurioSfera, 2019; García, 1988).

### **1.2 Trigo**

El trigo, grano con el que se hace el pan, es una planta gramínea (Figura 1), con una altura de 30 a 150 cm; su tallo es recto y cilíndrico; su hoja es lanceolada con un ancho de 0.5 a 1 cm y una longitud de 15 a 25 cm. Cada planta tiene de 4 a 6 hojas. Su inflorescencia es una espiga compuesta por un tallo central de entrenudos cortos llamado raquis; la flor consta de un pistilo y tres estambres protegidos por dos brácteas verdes o glumillas (SAGARPA, 2017).





Figura 1. Planta de trigo  
Fuente: Seghezzo & Molfese, 2006.

El *Triticum aestivum*, una de las variedades del trigo, se emplea en la industria de la panificación para la preparación de pan, galletas o pasteles, sobre todo con las variedades de grano suave y blando. Mientras que el *Triticum durum* se utiliza principalmente en la producción de pastas para consumo humano (SAGARPA, 2017).

La molienda del grano produce una harina que contiene las proteínas gliadinas y gluteninas que en su conjunto forman el gluten, el cual facilita la elaboración de panes de levadura de alta calidad (SAGARPA, 2017).

### 1.2.1. Origen

El trigo ha sido cultivado y cosechado desde los inicios de la agricultura. Se desconoce su origen con precisión, algunos autores atribuyen su procedencia a Mesopotamia, otros, remontan su origen a Turquía, Afganistán y la India. Investigaciones más recientes sostienen que el trigo viene de la zona que se comprende entre Asia Menor y Afganistán. El hombre primitivo, en alguno de estos lugares, se encontró por primera vez con el trigo silvestre, recolectándose quizás antes de 15.000-10.000 años AC. Los trigos recolectados fueron probablemente *Triticum monococcum* o *Triticum dicoccum* (Moreno *et al.*, 2001).

El trigo ha acompañado al hombre aproximadamente 90 siglos, lo que hace que se considere uno de los cultivos más viejos que el hombre ha sembrado como fuente de alimentación (Moreno *et al.*, 2001).

### 1.2.2. Clasificación

Existen diferentes clasificaciones en las que podemos catalogar al trigo, estas son las siguientes:

**Fecha de siembra.** Esta depende de la época en la que se siembre, el trigo de invierno tradicionalmente se siembra en otoño y se cosecha aproximadamente 11 meses después. Mientras que el trigo de primavera se siembra en esta estación y se cosecha 6 meses después.





**Dureza del grano.** Estos se dividen en trigo duro, el cual tiene un contenido proteico alto y el granulo de almidón es duro. El trigo blando, por su parte, cuenta con menor contenido de proteínas, lo que provoca una masa ideal para pan francés, galletas, etc. Finalmente, el trigo durum, el cual tiene alrededor del 12-14 % de proteína, siendo el más duro de los tres y gracias a esto utilizándose en la fabricación de pastas y sopas (Yara, 2021).

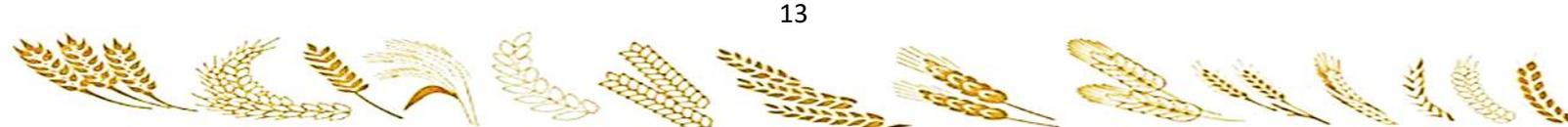
**Calidad de los granos.** Estos están divididos en 4 grupos, siendo el grupo 1 el de mejor calidad y el grupo 4 el que normalmente es cultivado para alimento animal, de acuerdo con ciertos requerimientos como el contenido de proteína, un cierto peso requerido, extensibilidad, elasticidad, entre otras, es como se es clasificado dentro de esta categoría (Yara, 2021).

**Calidad de la harina.** Cada una de las clases de trigo se utiliza para harina con diferentes propiedades para la industria de panificación. Dentro de esta tenemos la harina universal, harina panificadora, pastelera, sémola y durum, cada una cumple una función diferente para los productos panificados que sean requeridos (Yara, 2021).

### 1.2.3. Estructura

En el grano de trigo (Figura 2) pueden reconocerse 3 estructuras diferentes, el salvado o pericarpio, el germen y el endospermo. La proporción de los elementos que conforman un grano de trigo varía significativamente según la variedad, el terreno y el clima (Hugo & Godiño, 2000).

- El pericarpio es una cubierta protectora que rodea toda la semilla y está formado por varias capas, está compuesto básicamente por fibras de celulosa que contiene vitamina B<sub>1</sub>. El pericarpio ocupa alrededor del 15 % del peso total del grano (la cubierta de la semilla ocupa aproximadamente el 8 % de peso total, mientras la capa de aleurona 7 %), es rico en fibra y minerales, también dentro de este podemos encontrar lípidos y proteínas, aunque es pobre en almidón. La capa de aleurona rodea al grano por completo, es la capa exterior del endospermo, se encuentra entre este y el pericarpio, sin embargo, se elimina durante la molienda, junto con la cubierta de la semilla y el pericarpio, constituyendo el salvado.



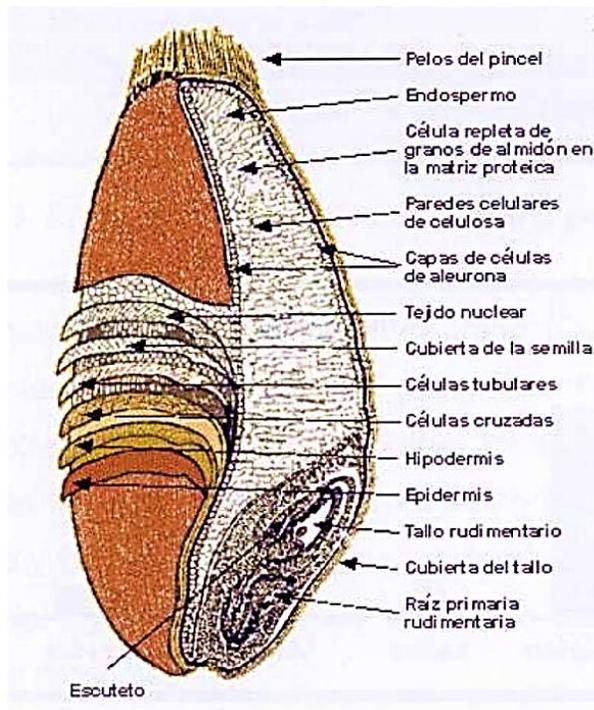


Figura 2. Estructura del grano de trigo.

Fuente: Hugo & Godiño, 2000.

- El endospermo está formado por proteínas insolubles, almidón y celulosa. Ocupa alrededor del 82 % del peso del grano, el mayor componente es el almidón, seguido de proteínas, lípidos, siendo deficiente en contenido de fibra. En este se almacena el alimento utilizado por el germen para crecer desde la germinación hasta la plántula. Las células del endospermo están formadas por gránulos de almidón incluidos en una matriz proteica.
- El germen o embrión es la planta en estado de latencia, constituye el 3 % del peso, el germen molible tienen mayor contenido de proteínas y grasas, y un menor contenido de carbohidratos. Los lípidos presentes en este son ácidos grasos insaturados de muy buena calidad, además de minerales, antioxidantes, enzimas, vitaminas del grupo B y vitamina E. La composición de aminoácidos de la fracción proteica tiene mayores proporciones de aminoácidos esenciales, especialmente lisina. Un 75 % de los lípidos del germen son triacilglicerol, y el resto son lípidos no polares y fosfolípidos (Seghezzi & Molfese, 2006; Bruno, 2018; Hugo & Godiño, 2000)





#### 1.2.4. Composición química

La constitución química del grano incluye la presencia de proteínas, lípidos, minerales e hidratos de carbono (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química del grano de trigo entero

Componente	%
Humedad	12.5
Proteína	14.0
Grasa	2.1
Fibra	2.6
Cenizas	1.9
Carbohidratos	66.9

Fuente: Silva, 2007

Las proteínas se distribuyen en todo el grano. Dentro del endospermo la concentración de proteínas (gliadinas y gluteninas) aumenta, estas tienen la capacidad de la formación de gluten, lo cual permite formar una masa fuerte, lo suficiente para retener el gas formado durante la fermentación y dar un producto esponjoso al ser cocinada. El trigo es pobre en aminoácidos esenciales como lisina, triptófano y metionina, por esta razón se considera de baja calidad proteica (Seghezzo & Molfese, 2006).

En el caso de los hidratos de carbono se presentan en el grano de trigo bajo la forma de fibra, azúcares libres, hemicelulosas o pentosanos y almidón, este último constituye cerca del 64 % del grano entero sobre base seca y 70 % del endospermo. La fibra está constituida principalmente por celulosa y hemicelulosa insoluble, la fibra es el componente principal del pericarpio (Seghezzo & Molfese, 2006).

Con respecto a los minerales, la mayor parte de estos es el fosfato de potasio y están concentrados en el pericarpio del grano. Actúan como activadores de las enzimas y son alimento indispensable para el desarrollo de las levaduras en el proceso de fermentación (Seghezzo & Molfese, 2006).

Los lípidos del trigo contienen un 70 % de ácidos grasos libres y triglicéridos, 20 % de glicolípidos y 10 % de fosfolípidos. Los lípidos polares (glicolípidos más fosfolípidos) mejoran el volumen de pan y las características de la miga (Seghezzo & Molfese, 2006).





### 1.2.5. Harina de trigo

Se define como el producto preparado a partir de trigo común mediante procesos de trituración o molturación, con los cuales se elimina el germen y el salvado, y el resto es reducido a un grado de finura adecuado (García, 2006).

Para la obtención de harina blanca es necesario separar lo más posible el endospermo del salvado y del germen, que son rechazados de forma tal que la harina quede libre de escamas de salvado, un buen color con la consiguiente mejora al paladar y a la digestión del producto, además de un aumento del tiempo de almacenamiento. También es importante reducir la mayor cantidad de endospermo, para conseguir la máxima extracción de harina blanca (García, 2006). La harina de trigo para panificación no debe reportar retención en tamiz #80 U.S. Standard Sieves, lo que equivale a 0.177 mm de abertura de malla y puede aceptarse un máximo de 10 % de retención en un tamiz #120 U.S. Standard Sieves, equivalente a 0.125 mm de abertura de malla (NMX-F-007-1982).

La harina debe ser: suave al tacto, de color natural, sin sabores extraños a rancio, moho, amargo o dulce. Debe presentar una apariencia uniforme sin puntos negros, libre de insectos vivos o muertos, cuerpos extraños y olores anormales (García, 2006).

#### 1.2.5.1 Composición química de la harina de trigo

Los componentes que se encuentran en la harina son los mismos que se encuentran en el grano, pero en mucho menor porcentaje de cada uno con excepción del aumento de los carbohidratos, estos se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2. Composición química de harina de trigo

Componente	%
Humedad	11-14
Proteína	9-11
Lípidos	1-2
Minerales	1-2
Carbohidratos	74-76

Fuente: García, 2006

El almidón es el principal componente de la harina, este junto con las proteínas destacan sobre los demás por su cantidad y función. El almidón representa cerca del 80 % de su peso en la harina de trigo y se presenta en la harina bajo la forma de gránulos, aglutinados por las proteínas. Las harinas procedentes de trigos





blandos presentan un almidón menos aglutinado que los procedentes de otros trigos.

Junto con el almidón, vamos a encontrar unas enzimas que van a degradar un 10 % del almidón hasta azúcares simples, son la alfa y la beta amilasa. Estas enzimas van a degradar el almidón hasta dextrina, maltosa y glucosa que servirá de alimento a las levaduras durante la fermentación (García, 2006).

Por otro lado, el gluten es un complejo de proteínas insolubles que le confiere a la harina de trigo la cualidad de ser panificable. Es responsable de la elasticidad de la masa de harina, lo que permite su fermentación, así como la consistencia elástica y esponjosa de los panes y masas horneadas (Claribel, 2018; García, 2006).

La cantidad de gluten presente en una harina es lo que determina que la harina sea “fuerte” o “floja”. La harina fuerte es rica en gluten, tiene la capacidad de retener mucha agua, dando masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios (Claribel, 2018; García, 2006).

La harina floja es pobre en gluten, absorbe poca agua, forma masas débiles y con tendencia a fluir durante la fermentación, dando panes bajos y de textura deficiente. No son aptas para fabricar pan, pero si galletas u otros productos de repostería (Claribel, 2018; García, 2006).

#### **1.2.5.2. Elaboración de harina de trigo**

La harina se obtiene del trigo por molienda. El primer paso para la obtención de harina es la limpieza del cereal. Normalmente se realiza por separadores magnéticos que eliminan los residuos de mayor tamaño y protegen la maquinaria de posibles obturaciones. Posteriormente debe acondicionarse el grano de cereal para ser molido. El objetivo principal es mejorar el estado físico del grano, lo cual optimiza la calidad de la harina obtenida. Para este acondicionamiento se añade agua y se deja en reposo durante un periodo de tiempo que puede ir de las 12 a las 24 horas a 40°C. Una vez adecuado el grano se procede a la molienda, se plantea que generalmente el contenido de humedad óptimo antes de la molienda varía entre 14 y 17%, ya que se puede llegar a obtener buenos resultados de extracción y calidad de la harina (Hernández *et al.*, 2013). En el proceso de la molienda se separa el salvado y, por lo tanto, la harina de trigo será más fácilmente digerible aunque, por el contrario, más pobre en fibra (Morato, 2009).



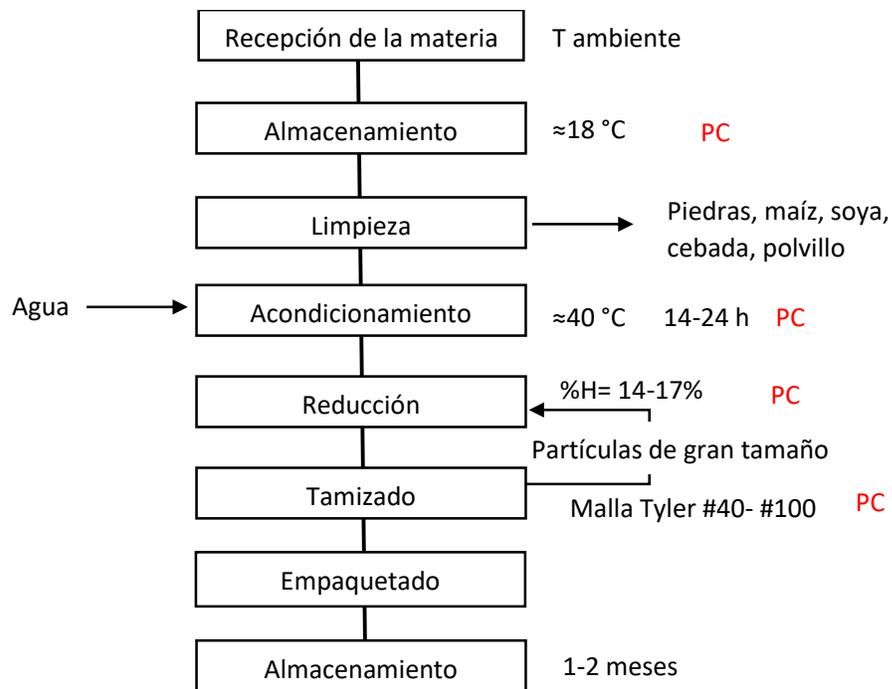


Figura 3. Diagrama de proceso de harina de trigo  
Fuente: Cazares, 2011; Hernández *et al.*, 2013.

El proceso de molienda (Figura 4) tiene por objeto separar el endospermo del salvado y del germen y reducirlo a harina. Esto se realiza mediante molinos de rodillos, que erosionan, desgarran y trituran el grano, siendo esta acción diferente sobre el endospermo, el salvado y el germen, lo que permite su separación por medio de tamices y separadores de aire; el endospermo es más friable y se tritura más finamente (García, 2006).

La trituration se realiza en una serie de cilindros agrupados por parejas cuya superficie es estriada y que giran en sentidos opuestos, en el intermedio (donde los dos rodillos se aproximan entre sí), las dos superficies llevan la misma dirección. Los dos rodillos funcionan con velocidades distintas, girando el más rápido, generalmente, a dos veces y media la velocidad del más lento. Así, además de la acción de compresión al pasar una partícula suficientemente grande por el estrecho espacio entre los dos rodillos, hay una acción de corte a causa de la diferencia de velocidades de ambos rodillos. Estos abren el grano separando las cubiertas externas con lo que el grano queda en forma de sémolas (Coaguila, 2018).

El proceso de molienda se desarrolla por fases, y cada fase produce un “triturado”, compuesto por una mezcla de partículas de diversos tamaños que pasan a un juego de tamices, mediante el cual las partículas se separan en fracciones, según su diámetro. Dichas fases son las siguientes:

Trituración o fragmentación: Con cilindros de superficie estriada cortante.





Reducción: Con cilindros de superficie lisa

Compresión: Con cilindros de superficie lisa

- Trituración o fragmentación

Tiene por objeto desprender los fragmentos de cubiertas que se encuentran adheridas al endospermo. Los cilindros de fragmentación llevan unas pequeñas estrías (Figura 4).

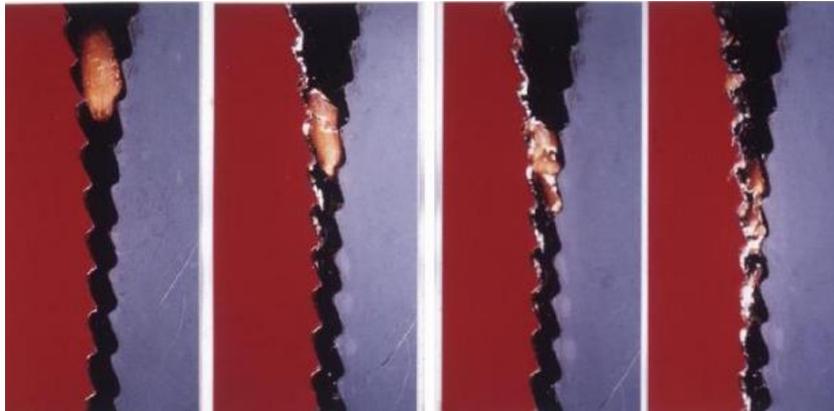


Figura 4. Trituración del grano de trigo con rodillos de superficie estriada  
Fuente: Buhler, 2012.

- Reducción

El objetivo siguiente es reducir el endospermo a la finura deseada en el producto terminado (harina). Esto se consigue con el sistema de reducción, donde cada par de rodillos al igual que en la fragmentación es seguido por un sistema de separación.

En cada par de rodillos se produce una pequeña cantidad de harina. Las partículas de endospermo de tamaño mediano, que contienen partículas de salvado, se pasan por un purificador. El purificador es esencialmente un tamiz inclinado que va transportando mediante vibración el producto de cabeza a cola, volviéndose cada vez más grueso.

- Compresión

Los cilindros utilizados en esta fase son rodillos lisos, en lugar de estriados. Esto con el objetivo de reducir las partículas de tamaño mediano o sémolas a finura de harina, y eliminar las últimas partículas de salvado y germen que puedan quedar. En la Figura 5 se pueden apreciar los diferentes tamaños de sémola y harina según su salida del cernidor. Tras cada paso de molienda, los pasajes de producto son continuamente tamizados separando la harina y las partículas, las cuales de ser más gruesas regresan nuevamente a los rodillos de reducción apropiados (García, 2006).





Una vez terminada la etapa de molienda sigue el cernido, este separa y clasifica los productos, divide y limpia las sémolas y las semolinas mientras que extrae la harina producida (Figura 5). Todas las separaciones se hacen mediante tamices adecuados que dejan pasar los gránulos más finos y rechazan los más voluminosos (Coaguila, 2018).

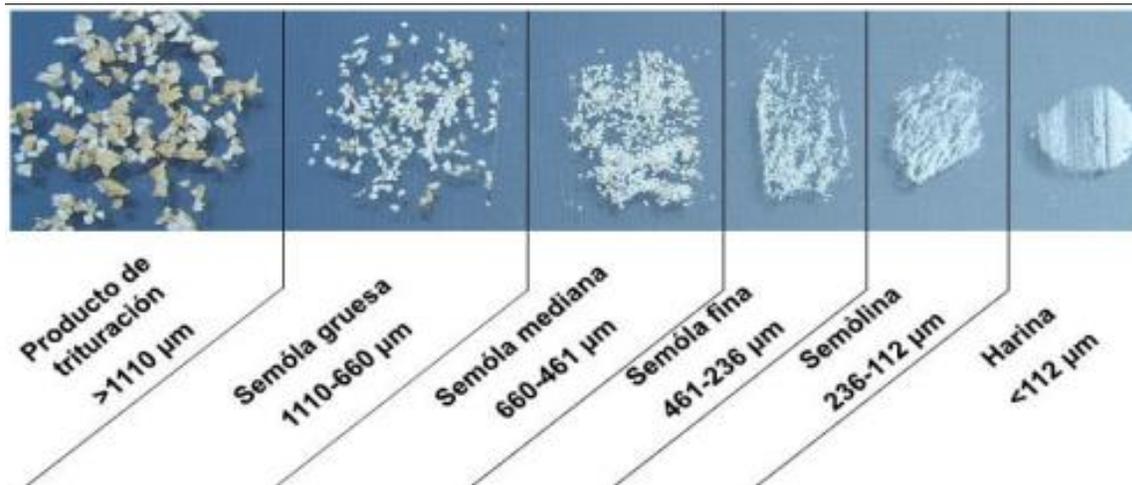


Figura 5. Grano molido a diferentes salidas en un cernidor  
Fuente: Bulher 2018.

### 1.2.5.3. Efectos en la salud

En México se pueden encontrar diferentes productos típicos tradicionales que son elaborados con este tipo de harina como: pan de pueblo, cocolos, pan de muerto, rosca de reyes, cemitas, obleas, etc.; todos estos productos son elaborados artesanalmente ofreciendo una gran variedad de sabores al consumidor (Castañeda, 2016), y esto se ve reflejado en un alto consumo de estas harinas las cuales, entre otros factores, han contribuido al aumento en el sobrepeso y la obesidad en México. Las harinas o carbohidratos refinados simples proporcionan energía rápida al cuerpo, que luego produce a su vez una bajada de la glucosa mayor que cuando se consumen con grano (los no refinados). Además, se necesita tomar más cantidad para tener sensación de saciedad, lo que, continuado en el tiempo, este exceso de calorías puede dar lugar a la aparición de sobrepeso (Conciencia eco, 2014) ya que la mayoría de estos productos no aportan nutrientes variados sino principalmente carbohidratos.

Uno de los grandes problemas en la dieta es la deficiencia de micronutrientes. Al menos mil millones de la población mundial la sufre. En México esta carencia afecta al 24,5 % de la población (Carrasco *et al*, 2010).





El enriquecimiento de los alimentos es una acción que forma parte de algunos programas gubernamentales con enfoques más específicos sobre el estado de nutrición existente. Es evidente que los alimentos básicos tienen un papel importante en los hábitos alimentarios de la población (Carrasco *et al*, 2010).

Una opción para ayudar a optimizar la nutrición de la población es adicionar nutrimentos (proteína, vitaminas y minerales) o alimentos con más nutrimentos que los de un alimento común como son las harinas (Carrasco *et al*, 2010) o a los alimentos elaborados con ellos como en este caso, el cocol, elaborado con harinas refinadas de trigo. Uno de estos granos nutritivos es el amaranto que se considera una fuente de nutrientes que son deficientes en las harinas refinadas de trigo.

### 1.3 Cocol

El cocol (Figura 6) es un pan dulce tradicional mexicano, hecho con anís, harina de trigo, piloncillo, huevo y mantequilla, suele decorarse con mucho ajonjolí. Es típico de las regiones de Tlaxcala, Hidalgo y el Estado de México y su nombre viene del náhuatl, cocolli, que significa riña o enojo, aunque diferentes autores señalan que “cocol” no es una derivación de cocolli, sino que es una palabra 100 % náhuatl y que por lo tanto su significado sería “apapacho” (Larousse, 2021; Delicias prehispánicas, 2020).

Existen dos tipos de Cocolos, aquellos de fiesta los cuales son amarillos y se caracterizan por tener bastante ajonjolí por encima. Y los que se encuentran en las panaderías de pueblos, están hechos con fermento de miel y mucho anís (Figura 6).

Este pan se elaboraba en México antes de la llegada de los españoles, en esa época se fabricaba con maíz, semillas y miel, el origen del pan cocol elaborado con trigo se remonta hasta la Conquista española de México, porque fueron los españoles los que trajeron a Mesoamérica el trigo y el arte de hornear pan, y los mexicas aprendieron a cultivarlo, molerlo y hornearlo (Excelsior, 2020; UNAM, 2020).

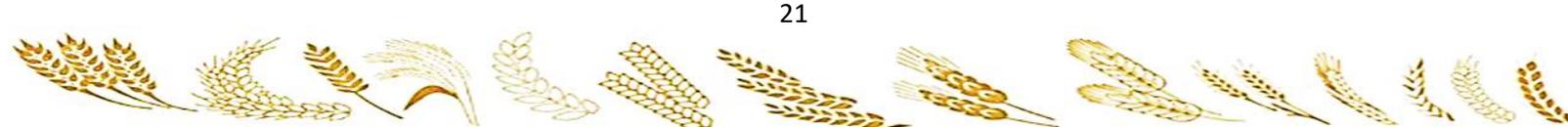




Figura 6. Cocolos  
Fuente: Excelsior, 2020

Según una encuesta realizada por la Dirección General de Estudios sobre Consumo en 2017 en la Ciudad de México, el 96.7 % de la población entrevistada es consumidora de pan dulce tradicional o “recién hecho” por lo menos una vez a la semana, de este porcentaje de personas señalaron que las principales razones de su consumo son; el gusto del sabor, textura, olor, etc., por tradición o costumbre y por antojo. Posteriormente, de este 96.7 % el 62.9 % dijo comerlo durante el desayuno y el 54.3 % durante la cena o merienda, durante el desayuno se consume mayormente (44.4 %) de 4 a 7 veces por semana, mientras que durante la cena o merienda de 2 a 3 veces por semana (43.4 %) (PROFECO, 2017).

El cocol se encuentra en un nivel de preferencia del 1.9 % ubicándose en la posición número 12 de 52 para su consumo durante el desayuno, mientras que para la merienda o cena se encuentra en el lugar 12 de 60 panes mencionados con un 2.0 % de consumo (PROFECO, 2017). Es típico de las regiones de Tlaxcala, Hidalgo y el Estado de México, por lo que su venta y consumo se centra en estos estados y sus vecinos, como lo son Puebla y Ciudad de México.

Durante la Feria del cocol Zentlalpan 2017, en el Estado de México, se menciona que la cuarta regidora de esta región pediría a la UNESCO que el cocol mexicano fuera considerado como patrimonio gastronómico de la humanidad, por lo que se invitaría a este evento al turismo tanto nacional como internacional, sin embargo, no se han encontrado registros sobre su consumo a nivel internacional, por lo que hasta el momento solo puede ser producido y distribuido en regiones de México (Portal mexiquense, 2017).

Como se vio un poco antes, el cocol es uno de los panes más antiguos y tradicionales de nuestro país, que poco a poco con el pasar de los años se ha ido perdiendo la tradición de su consumo y producción, por lo que se eligió el cocol en este trabajo para, de alguna manera, evitar que quede en el olvido, pero a la vez dando una versión más saludable de este gracias a la adición de harina integral de amaranto, ayudando a la mejora de su calidad nutrimental y funcional pues el pan





dulce en general es elaborado tradicionalmente con harinas refinadas de trigo, las cuales se asocian a cambios metabólicos que pueden incrementar el riesgo de sufrir obesidad, diabetes, cardiopatías y otros problemas de salud si su consumo es alto y prolongado (Gottau, 2021).

#### 1.4. Amaranto

La palabra «amaranto» viene del griego y significa «eterno, perdurable». El amaranto (Figura 7) es una dicotiledónea de la familia *Amaranthaceae*. Pertenece al género *Amaranthus* que comprende aproximadamente 70 especies. Las tres principales especies que son cultivadas para la producción de grano son *A. hypochondriacus*, originario de México, *A. cruentus*, originario de Guatemala y del sureste de México y *A. caudatus*, cuyo origen es América del Sur (Mapes, 2015).

Actualmente su cultivo se ha difundido a nivel mundial, cultivándose en los cinco continentes, es muy resistente a la sequía y al calor y requiere menos cantidad de agua. Los principales países productores de amaranto de grano son China, India, Kenia, México, Nepal, Perú, Estados Unidos, Bolivia, Pakistán, Nepal, Argentina y Rusia (Mapes, 2015).

La proteína del amaranto es de alto valor biológico, pues es la que presenta el balance de aminoácidos que más se acerca a la proteína ideal; la eficiencia proteica del amaranto es comparable con la de la caseína. En particular, el aminoácido esencial lisina, el cual no se encuentra en las proteínas de los cereales, en el amaranto se presenta en cantidades dobles con respecto a la que presentan los granos comunes. Como resultado de esto, el amaranto puede ser usado para complementar alimentos elaborados con maíz, trigo y arroz (Matías *et al.*, 2018; Mapes, 2015).



Figura 7. Planta de amaranto  
Fuente: Karelj, 2013.





### 1.4.1. Origen

El amaranto es uno de los cultivos más antiguos en Mesoamérica, muestras arqueológicas, del grano de amaranto, encontradas en Tehuacán, Puebla datan del año 4,000 a.C., e indican que probablemente se originó en América Central y América del Sur. El amaranto fue un alimento de primera importancia en la dieta diaria de los aztecas y producían entre 15 y 20 mil toneladas de este cultivo al año, lo que lo ubicaba en tercer lugar después del maíz y el frijol. (Cortés, 2011; Paredes, 2001). Registros históricos revelan que la producción y uso del amaranto, tanto en forma vegetal como grano estuvo en su máximo apogeo durante los períodos maya y azteca. Cuando se dio la conquista española esta acabo con el uso del amaranto como producto básico, eliminando la posibilidad de que se integrara en la alimentación mundial un producto de alto valor nutrimental (Cortés, 2011).

### 1.4.2 Morfología

Según Jiménez (2017), el amaranto es una planta anual, herbácea, posee diferentes colores, con tallos largos que crecen rápidamente, alcanzan una altura de hasta 2,60 m. aproximadamente, con un ciclo vegetativo de 180 días en climas templados y en la costa de 120 días teniendo una reducción aún más en la selva de 90 días. El amaranto es tolerable al calor y la sequía. La planta de amaranto posee diferentes partes, dentro de estas se encuentran:

**Raíz.** La raíz es abundante en ramificaciones 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.

**Tallo.** El tallo 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. El número de ramificaciones es dependiente de la densidad de población en la que se encuentre el cultivo.

**Hojas.** Las hojas son pecioladas, sin estípulas de formas ovals, elípticas, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero, de tamaño variable de 6,5-15 cm.

**Inflorescencia.** Corresponde a panículas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 0,5-0,9 m pudiendo presentar diversas formas.

**Semilla.** La semilla es muy pequeña mide de 1 a 1,5 mm de diámetro, es ligeramente aplanada, tiene colores como blanco amarillentos, dorados, rojos,





rosados, púrpuras, y negros. La planta del amaranto puede producir más de 50,000 semillas.

### Clasificación taxonómica

**Reino:** *Plantae*  
**Subreino:** *Embriofitas*  
**División:** *MPagnoliophyta*  
**Clase:** *Magnoliopsida*  
**Subclase:** *Caryophilidae*  
**Orden:** *Caryophyllales*  
**Familia:** *Amaranthaceae*  
**Género:** *Amaranthus*  
**Subgénero:** *Acnida(dioica) Amaranthus(monoica)*

(Jiménez, 2017).

### 1.4.3. Composición química del amaranto

La composición química de las semillas (tabla 3) presenta un valor nutrimental superior comparado con otros granos. El contenido de proteína esta entre 14 a 17 %, una parte de esta corresponde a globulinas (principalmente 11S) ricas en lisina y aminoácidos azufrados, los cuales son esenciales para una óptima nutrición. Contiene diversos compuestos como péptidos antimicrobianos, inhibidores de proteasas, lectinas y compuestos antioxidantes (Matías *et al.*, 2018).

Tabla 3. Composición química del amaranto

Componente	%
Humedad	11.1
Proteína	17.9
Grasa	7.7
Fibra	2.2
Cenizas	4.1
Carbohidratos	57.0

Fuente: Silva, 2007





El contenido de lípidos va de 7 a 8 %, y dentro de estos se encuentra el escualeno, que es un potente antioxidante y fortalecedor del sistema inmune además de un componente abundante. Mientras que el contenido de almidón es similar al de los cereales pues este representa del 50 al 60 % de su peso seco.

Los análisis de la composición proximal de las harinas de las semillas de amaranto muestran que el contenido de proteína varía entre 13 y 18 %, la grasa va de 6.3 a 8.1 %, la fibra es de entre 2.2 y 5.8 % y el contenido de cenizas es de 2.8 a 4.4 % (Matías *et al.*, 2018; Mapes, 2015).

#### 1.4.4. Propiedades nutrimentales

La característica más importante del amaranto es su alto valor nutritivo. El valor nutritivo de sus granos implica que además de su contenido proteico, el espectro de aminoácidos y los niveles de vitaminas y minerales son excelentes. Tiene un contenido importante de lisina, aminoácido esencial en la alimentación humana y que comúnmente es más limitado en otros cereales (Mapes, 2015). En la siguiente tabla (Tabla 4) se muestran los distintos aminoácidos esenciales, así como su contenido en gramos por cada 100g de proteína dentro de las semillas de tres especies distintas de amaranto.

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

Aminoácido	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	<i>Amaranthus cruentus</i>	<i>Amaranthus caudatus</i>
Isoleucina	2.8-3.8	3.4-3.7	3.6-4.1
Leucina	5.0-5.8	4.8-5.9	5.9-6.3
Lisina	3.2-6.0	4.8-5.9	5.7-6.4
Metionina y Cisteína	2.6-5.5	3.8-5.4	4.7
Fenilalanina y Tirosina	6.9-8.5	5.6-8.5	6.2
Treonina	2.6-4.3	3.2-4.2	3.8
Triptófano	1.1-4.3	-	1.1
Valina	3.2-4.2	2.4-4.0	4.1-4.7

Fuente: Silva, 2007.

La proteína del amaranto es fácilmente digerible y aproximadamente un 90 % del contenido de esta se hidroliza y puede ser absorbido eficientemente. Su importancia no radica sólo en la cantidad, sino en la calidad de la proteína, ya que presenta un excelente balance de aminoácidos (Matías *et al.*, 2018).

El grano de amaranto contiene entre un 13 y 19 % de proteína, que se ha descrito como proteína de alta calidad, esto se refiere a su contenido de aminoácidos esenciales como: histidina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, treonina,





valina y lisina. La combinación de cereales con amaranto permite un balance de aminoácidos bastante equilibrado (Algara, 2016).

#### **1.4.5. Amaranto como alimento funcional**

El amaranto presenta algunas propiedades para ayudar a mantener la salud. La harina de amaranto con ajonjolí y lentejas es una buena fuente de calcio, hierro y fósforo. La combinación de harina de amaranto, ajonjolí y trigo sarraceno es la mejor fuente de magnesio. El triticale, trigo sarraceno y amaranto constituyen juntos una buena fuente de vitamina E. Además, el amaranto puede aportar cantidades importantes de fibra dietética y vitaminas E y B, puede ser una fuente importante de niacina (para la producción de hormonas sexuales, del crecimiento y del metabolismo), y lisina (para la producción de anticuerpos, hormonas y enzimas), así como de fósforo y magnesio, y puede servir como ayuda a la curación de herpes. El amaranto se cocina mejor cuando se utiliza una proporción menor en relación con otro grano (de 1:4 a 1:3) (Mapes, 2015; Matías *et al.*, 2018).

El almidón del amaranto está dividido en dos tipos: aglutinante y no aglutinante, el primero es el apropiado para la industria panadera, sin embargo, el amaranto sólo puede ser utilizado en la elaboración de productos panificados que no necesiten expansión debido a que carece de gluten funcional, y podrá ser utilizado en mezclas con harinas de otros cereales. El amaranto puede ser utilizado en la elaboración de panes en sustitución de 10 % de harina de trigo, lo que mejoraría la calidad nutritiva (Mapes, 2015; Algara, 2016; Matías *et al.*, 2018; López, 2021).

Con base en todo lo mencionado anteriormente, en este trabajo se propuso la elaboración de un producto de panificación tradicional como el cocol, pero reformulado para tener un producto con mejor calidad nutrimental y funcional, y recuperar su consumo y producción entre los consumidores, dándole un plus al agregar harina integral de amaranto, ayudando así a la disminución de distintos problemas de salud relacionados con el consumo en exceso de productos hechos a base de 100 % harina de trigo.

#### **1.4.6. Harina de amaranto**

La harina de amaranto se deriva de las semillas de la planta de amaranto. Su popularidad ha crecido porque no contiene gluten, y muchas personas que no lo toleran pueden cocinar con este tipo de harina debido a sus beneficios para la salud.

El uso más común del cereal de amaranto es su molienda para harina. La harina de amaranto tiene un elevado contenido de proteínas, fibras y lisina.





Por lo general, la harina se utiliza en cereales, pastas, panques, galletas, panes, galletas dulces u otros productos horneados, y puede combinarse con otros tipos de harina. Si se usa en pan, la harina requiere combinarse con otra clase de harina para esponjar y para preparaciones que no requieran levado, como las galletas, puede usarse sólo harina de amaranto. La harina de amaranto debe ser de apariencia homogénea y ligeramente granulosa, color ligeramente pardo y olor y sabor característicos. (EcoAndes, 2016).

Para la elaboración de la harina de amaranto se parte del grano de amaranto y su proceso se puede ver en la Figura 8.

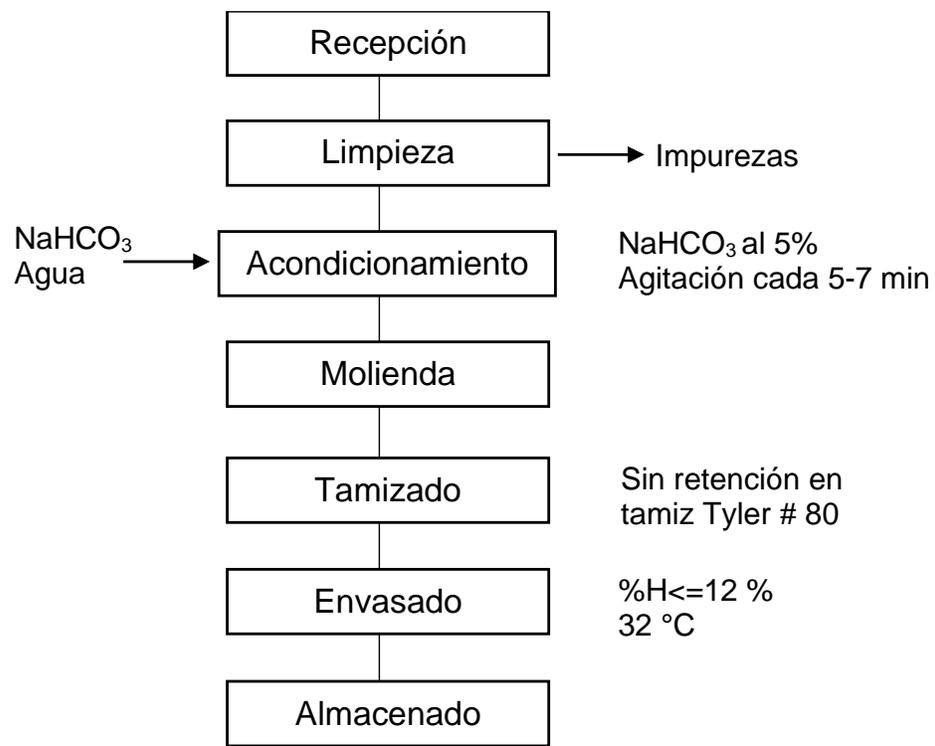


Figura 8. Diagrama de proceso para la obtención de harina de amaranto  
Fuente: Martínez & Mátar, 2017.

**Limpieza.** Se utilizan coladores para cernir, con la finalidad de eliminar todas las impurezas y cualquier cuerpo extraño que pudiera existir en la materia prima.

**Acondicionamiento.** Posteriormente se lava con solución de bicarbonato de sodio al 5% y suficiente agua, removiendo continuamente de 5 a 7 minutos, para eliminar la astringencia de la semilla. A continuación, se lava con agua y se coloca en lienzos de tela para secar al sol.





**Molienda.** Se procede a moler la materia prima, utilizando un molino de discos con el objeto de triturar y obtener la harina (Martínez & Mátar, 2017).

La molienda se puede realizar por vía seca o húmeda, en la molienda seca se busca separar las partes estructurales del grano: endospermo, germen y salvado, mientras que en la molienda húmeda se utilizan aditivos químicos en solución acuosa con el objetivo de separar los componentes del grano: almidón, proteína, aceite y fibra.

A nivel industrial, la molienda húmeda se aplica básicamente a pocos cereales, entre ellos está el maíz, el trigo y el arroz. En el caso específico del grano de amaranto no se dispone hasta el momento de un método eficaz de molienda húmeda que permita la industrialización a gran escala. Sin embargo, a nivel de laboratorio se han desarrollado estudios con éxito que han permitido aumentar el conocimiento tecnológico del grano y que en algunos casos se llevaron a escala piloto.

Los avances en la molienda húmeda de amaranto comenzaron con el estudio de la estructura y morfología del grano de amaranto para identificar las diferentes fracciones del grano y su composición característica (Roa, 2015).

**Tamizado.** El proceso de tamizado se lleva a cabo para uniformar el tamaño de la partícula en las harinas y así poder homogenizar la granulometría a un tamaño de partículas que sobrepasen el 100% las 170 micras (malla 80).

**Empacado.** La harina posteriormente es empacada en bolsas de polietileno para ser conservadas para su posterior uso (Martínez & Mátar, 2017).





## 2. Desarrollo experimental

### 2.1. Objetivos

- Objetivo general

Desarrollar una formulación para la elaboración de un pan tipo cocol adicionado con amaranto, mediante la modificación de las cantidades de harina de amaranto y trigo para la obtención de un producto sensorialmente aceptable y con un aumento en su valor nutricional y funcional respecto al pan tradicional.

- Objetivo particular 1

Evaluar la composición química, nutrimental y funcional de las harinas de trigo y amaranto mediante un análisis químico proximal; determinación de triptófano, digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, PER, almidón total y digerible; y almidón resistente, fibra dietética, capacidad antioxidante y fenoles respectivamente para saber si pueden complementarse.

- Objetivo particular 2

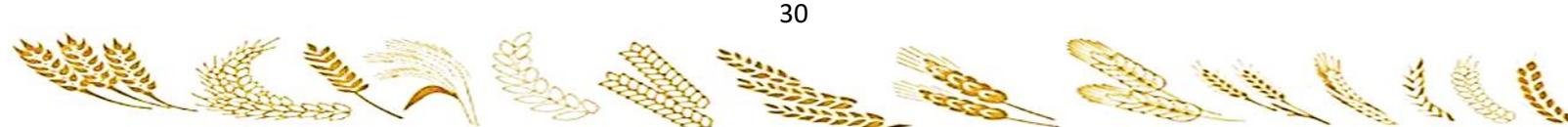
Evaluar las diferentes formulaciones propuestas mediante la elaboración del pan y una prueba sensorial de preferencia para escoger el cocol con las mejores características organolépticas.

- Objetivo particular 3

Evaluar las características químicas (AQP), nutrimentales (triptófano, digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, PER, almidón total y digerible) y funcionales (almidón resistente, fibra dietética, capacidad antioxidante y fenoles) del cocol comparándolo con uno tradicional para saber si mejoran estas características

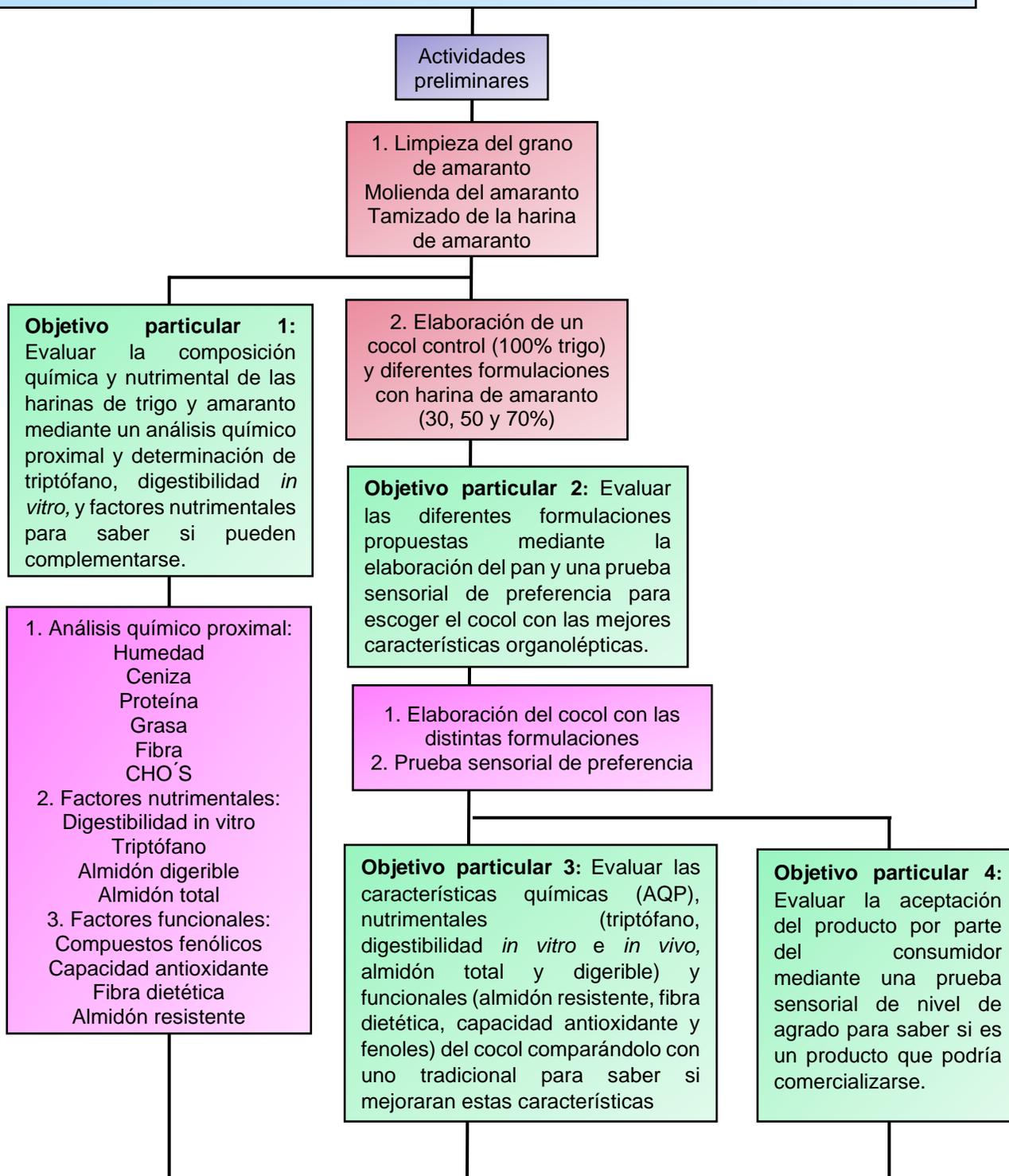
- Objetivo particular 4

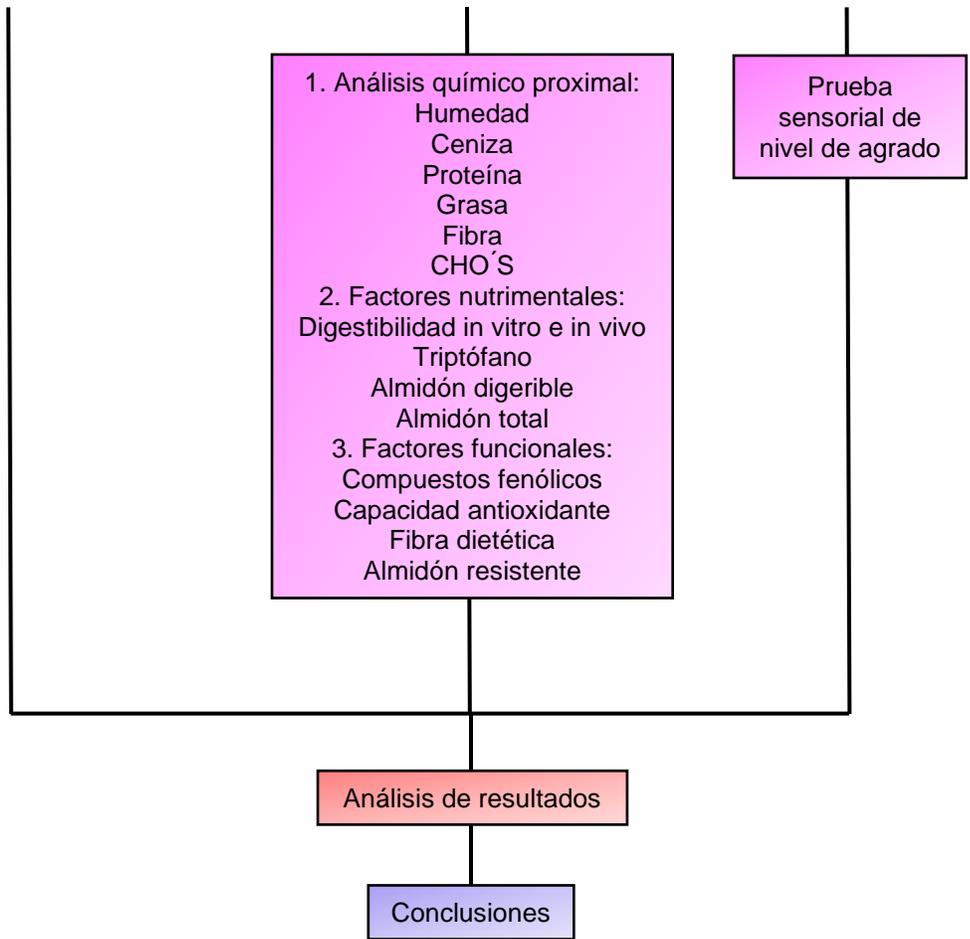
Evaluar la aceptación del producto por parte del consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado para saber si es un producto que podría comercializarse.



## 2.2. Cuadro metodológico

**Objetivo general:** Desarrollar una formulación para la elaboración de un pan tipo cocol adicionado con amaranto, mediante la modificación de las cantidades de harina de amaranto y trigo para la obtención de producto sensorialmente aceptable y con un aumento en su valor nutricional respecto al pan tradicional.







## 2.3. Metodología

### 2.3.1. Material biológico

Se utilizó harina refinada de trigo marca TRES ESTRELLAS® y harina integral de amaranto nativo (*Amaranthus hypochondriacus L.*) variedad Tulyehualco, cosecha 2014. La semilla de amaranto fue molida en un molino para café marca KRUPS, esta se hizo pasar por un tamiz malla #40 serie Tyler, dicha harina se mantuvo en refrigeración a 4 °C en un frasco tapado hasta su posterior uso, mientras que la harina de trigo se mantuvo en su empaque a temperatura ambiente.

### 2.3.2. Análisis químico proximal

Se le realizó un análisis químico proximal a la materia prima: harina de trigo TRES ESTRELLAS® y harina integral de amaranto Tulyehualco, así también al cocol control y cocol seleccionado, siguiendo los métodos descritos en el A.O.A.C. 2005.

#### 2.3.2.1. Humedad

Técnica: 925.09: Secado por estufa

Fundamento: La determinación de secado en estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles (AOAC, 2005).

1. Se calentaron cajas de aluminio en estufa a 103 °C por una hora.
2. Las cajas se colocaron en un desecador por 10 minutos y pesaron en balanza analítica, se repite el proceso hasta llegar a peso constante.
3. Se pesaron 3 g de muestra en la caja.
4. Posteriormente se llevó a la estufa a 103 °C por 1 hora.
5. Se retiraron las cajas de la estufa y se colocaron en un desecador por 10 minutos y parra después pesarlos en balanza analítica.
6. Los pasos 4 y 5 se repitieron hasta peso constante.

$$\%H = \frac{\text{Peso caja con muestra húmeda (g)} - \text{Peso caja con muestra seca (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} * 100$$





### 2.3.2.2. Grasa

Técnica 920.39: Método Soxhelt

Fundamento: Se denomina extracto etéreo o grasa bruta al conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con éter etílico (ésteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres). La extracción consiste en someter la muestra exenta de agua (deshidratada) a un proceso de extracción continua (Soxhlet) utilizando como solvente éter etílico (A.O.A.C., 2005).

1. Se secaron los matraces bola de destilación fondo plano por una hora a 90-110 °C.
2. Después se dejó en el desecador por 10 minutos y se pesaron.
3. Se repitió el paso 1 y 2 hasta tener un peso constante.
4. Se pesaron 3 g de muestra, que previamente fueron secadas en estufa a 130 °C por 1 hora.
5. Después se colocaron dentro de cartuchos de celulosa, se montó el equipo de destilación con un matraz bola.
6. Los cartuchos se colocaron dentro del equipo, se añadió hexano y se destiló por 2 horas y media.
7. Pasado el tiempo se vació el hexano y se retiraron los cartuchos.
8. Se esperó a que se evaporara el resto del hexano y solo quedara la grasa libre.
9. Posteriormente se retiró el matraz y se colocó en una estufa a 75 °C por una hora, pasado el tiempo se dejó enfriar en un desecador por 10 minutos, para después pesar.
10. Se calculó la grasa extraíble de la siguiente manera:

$$\%Grasa = \frac{\text{matraz con grasa} - \text{matraz solo}}{\text{peso de la muestra (g)}} * 100$$

### 2.3.2.3. Proteína

Técnica 954.01: Método de Micro-Kjeldahl

Fundamento: El método se basa en la digestión de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido libera amoníaco, el que se destila recibiendo en Ácido bórico 40 % formándose borato de amonio el que se valora con HCL 0.1N (A.O.A.C., 2005).





1. Se pesó 0.1 g de muestra previamente secada y se colocó en un matraz Micro-Kjeldahl agregando sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), sulfato cúprico ( $CuSO_4$ ) y ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).
2. Se colocaron en una parrilla y la perilla se dejó a temperatura de ebullición para que empezara la digestión, durante 1 hora. Pasado este tiempo, el líquido se tornó de un color azul verdoso, este se dejó enfriar.
3. Se agregó la solución en el destilador seguida del NaOH 40 %.
4. Posteriormente en un matraz se agregó  $H_3BO_3$  y fenolftaleína.
5. Se recolectó el destilado y tituló con HCl 0.1N.
6. Se leyeron los ml de HCl gastados durante la titulación y se calculó lo siguiente:

$$\%N = \left( \frac{(N)(0.014)(ml\ HCl\ gastado)}{peso\ de\ la\ muestra} \right) * 100$$

Dónde:

%N = Nitrógeno total

0.014= miliequivalente del nitrógeno

N= normalidad de HCl =0.1 N

$$\%Proteína = \%N * F$$

F= factor de conversión de nitrógeno en proteína (para trigo: 5.83, para amaranto: 5.87).

#### 2.3.2.4. Fibra

Técnica 989.03: Método de Wendee

Fundamento: Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se obtiene una pérdida de masa que es el valor de las sales y por diferencia se determina la fibra cruda (AOAC, 2005).

1. Se pesó 0.5g de muestra.
2. Se colocó en vasos de precipitado, adicionando 200 mL de  $H_2SO_4$  al 1.25 % y se dejó hervir por 30 minutos.
3. Se vigiló constantemente para evitar que sólidos se adhirieran al vaso.
4. Pasado el tiempo se agregaron 200 mL de NaOH al 2.5 % y se siguió calentando hasta hervir por 30 minutos.



- 
5. Pasado el tiempo, se filtró la solución y se midió el pH el cual debe ser de 6, al terminar se le agregó un poco de alcohol.
  6. El papel filtro se colocó en la estufa para su posterior incineración.
  7. Al obtener las cenizas se pasaron a la mufla por 30 minutos, se dejó enfriar para después pesar (se repitió hasta que llegó a peso constante).
  8. Se calculó de la siguiente forma:

$$\%F = \frac{(W2 - W1) - (W4 - W3)}{W5} * 100$$

Dónde:

W1= peso del papel filtro (g)

W2= peso del papel filtro con residuos secos (g)

W3= peso del crisol vacío (g)

W4= peso del crisol después de la incineración (g)

W5= peso de la muestra previamente desengrasada (g)

### 2.3.2.5. Cenizas

Técnica 923.03: Método de Kleem.

Fundamento: Las cenizas de los productos alimentarios están constituidas por el residuo inorgánico que queda después de que la materia orgánica se ha incinerado. Las cenizas obtenidas no tienen necesariamente la misma composición que la materia mineral presente en el alimento original, ya que puede haber habido pérdidas por volatilización o alguna interacción entre los constituyentes (A.O.A.C., 2005).

1. Se pesaron 3g de muestra en crisoles (previamente a peso constante).
2. Se colocaron sobre un mechero, hasta su total incineración.
3. Posteriormente se colocaron dentro de una mufla por 1 hora
4. Se dejó enfriar dentro un desecador para después pesar (se repitieron los pasos 3 y 4 hasta llegar a peso constante).

$$\%Cenizas = \frac{\text{peso del crisol con cenizas} - \text{peso del crisol solo}}{\text{gramos de muestra}} * 100$$



### 2.3.2.6. Carbohidratos

Se determinaron por diferencia después que se completaron los análisis de humedad, cenizas, fibra cruda, grasa y proteína cruda.

$$\%CHO's = 100 - (\%proteína + \%grasa + \%ceniza + \%fibra + \%humedad)$$

### 2.3.3. Elaboración del pan tipoocol

Se propusieron tres formulaciones de harina (F1, F2 y F3) para la elaboración de pan tipoocol adicionando a ellas diferentes cantidades de harina integral de amaranto, estas, así como la formulación “tradicional” o “control” se observan en la tabla 5 y 6.

Se varió el porcentaje de trigo y amaranto para las tres formulaciones mencionadas, teniendo cantidades de estas harinas recomendadas por la literatura como las ideales para mejorar el valor nutricional del pan y que pueda elaborarse el producto, además de la experiencia previa en el laboratorio.

Tabla 5. Cantidades de harina de trigo y amaranto propuestas.

Harina	Cantidad %			
	Control	F1	F2	F3
Trigo	100	60	40	20
Amaranto	0	30	50	70
Gluten	0	10	10	10

Tabla 6. Formulación para la elaboración de pan tipoocol

Ingredientes	%
Harina de trigo	48.93
Agua	16.75
Piloncillo	15.01
Mantequilla	8.93
Huevo	7.9
Ajonjolí	1.58
Levadura	0.5
Anís	0.4

### 2.3.4. Diagrama de proceso

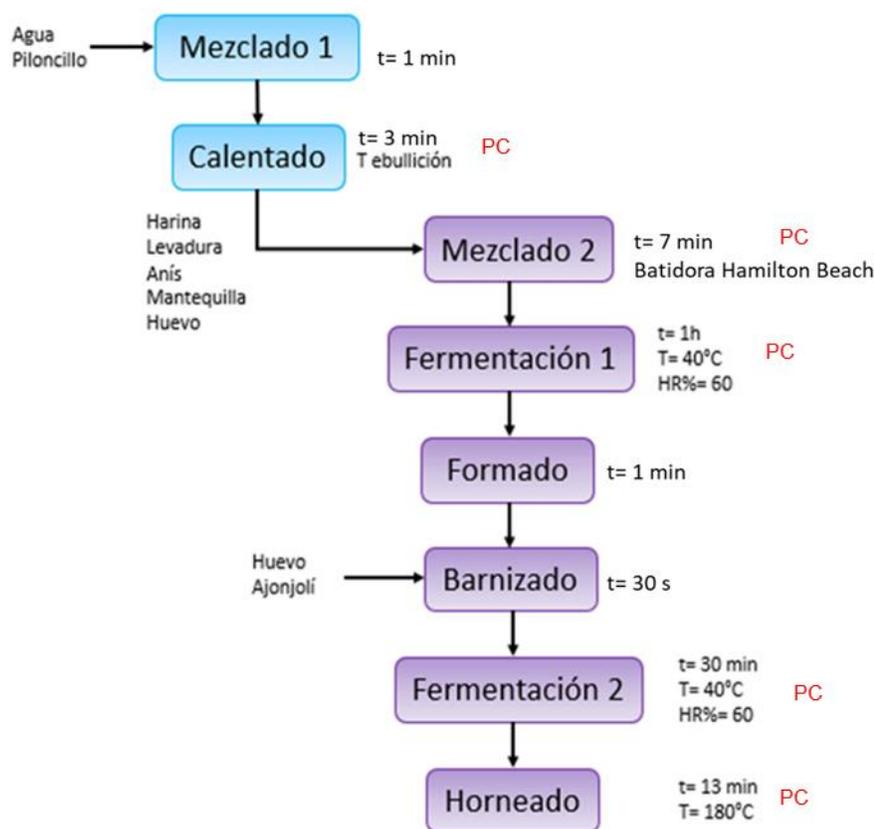


Figura 9. Proceso de elaboración del pan tipoocol con amaranto  
Fuentes: Panadería casera y algo más, 2020.

Mezclado 1 y calentado: se agregó el agua y piloncillo, posteriormente se llevó a calentar a temperatura de ebullición, esto con el fin de poder disolver por completo el piloncillo, quedando un jarabe para su posterior uso.

Mezclado 2: se mezcló el resto de los ingredientes en el siguiente orden: harina de trigo y amaranto, levadura, anís, mantequilla, huevo y el jarabe realizado con anterioridad, por 7 minutos utilizando una batidora Hamilton Beach.

Fermentación 1: se dejó fermentar por 1 hora en una fermentadora a condiciones de 40 °C y una humedad relativa de 60 %, esta operación tiene como propósito dejar actuar la levadura, dar un volumen a la masa y sabor.

Formado: a la masa se le dio una forma similar a un rombo y se colocó en un recipiente previamente engrasado.



Barnizado: se barnizó la masa formada con un poco de huevo y se espolvoreó ajonjolí.

Fermentación 2: se dejó fermentar nuevamente, esta vez 30 minutos a las mismas condiciones de T y HR % que la “Fermentación 1”, esto para duplicar su tamaño.

Horneado: finalmente se horneó por 13 minutos a una temperatura de 180 °C.

### 2.3.5. Características nutrimentales

#### 2.3.5.1. Determinación de Triptófano

Este método somete a la proteína a una hidrólisis para liberar el triptófano del enlace peptídico. La hidrólisis ácida destruye el triptófano, por lo que se tiene que recurrir a las hidrólisis alcalinas o enzimáticas. En este caso se realiza una hidrólisis enzimática para liberar al triptófano y hacerlo reaccionar con *p*-dimetilaminobenzaldehído (DMAB) y este producto es luego tratado con solución de nitrito sódico, produciéndose una coloración azul proporcional a la cantidad de triptófano presente (Rama *et al.*, 1974).

1. Se pesaron 0.5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer
2. Se agregó pepsina, se incubó y mantuvo en agitación constante por 3 horas a temperatura ambiente.
3. Se adicionaron NaOH 0.1N y pancreatina, se agitó e incubó por 24 horas a temperatura ambiente.
4. Pasando el tiempo se aforó a 25mL con agua destilada.
5. Se centrifugó por 15 minutos.
6. Posteriormente se tomaron 3 alícuotas de 1mL de muestra y se colocaron en tubos de ensaye.
7. Se adicionaron a los tubos con muestra HCl concentrado, 3 DMAB, se agitó y se dejó reposar en oscuridad.
8. Pasados los 15 minutos se agregaron NaNO<sub>2</sub>.
9. Se ajustó el espectrofotómetro a 590nm.
10. Para obtener los g Try/100g de proteína se realizaron los siguientes cálculos:

$$\frac{g \text{ Try}}{100g \text{ muestra}} \rightarrow g(\%) \text{ de Proteína}$$
$$z \rightarrow 100g \text{ de Proteína}$$

Dónde:

Z= g Try/100 g de proteína





### 2.3.5.2. Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* se lleva a cabo utilizando un sistema multi enzimático que libera los aminoácidos provocando una disminución del pH que indica de manera indirecta y mediante una ecuación matemática la digestibilidad de proteínas (Hsu *et al.*, 1977):

1. Se pesó una muestra que contuviera 10 mg de N<sub>2</sub>
2. Se adicionaron 10 mL de agua destilada
3. Se equilibró el pH a 8.0
4. Se dejó 1 hora remojando y en agitación en un baño de agua a 37 °C
5. Transcurrido el tiempo se añadió solución enzimática A mientras se agitó.
6. Transcurridos 10 minutos se agregó solución enzimática B, al mismo tiempo
7. Pasado 1 minuto se midió el pH.
8. La digestibilidad se calculó de la siguiente manera:

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

Dónde:

Lectura pH= pH de la suspensión de proteína

### 2.3.5.3. Relación de Eficiencia Proteica (PER)

Para la evaluación de la calidad proteica del cocol se llevó a cabo la prueba de Relación de Eficiencia proteica (PER) según el método 960.48 AOAC de 1990. Se realizó una dieta isoproteica e isocalórica con el cocol control y una dieta control con caseína. La dieta fue administrada por vía oral, colocando en un comedero 70g de alimento en forma de harina, el cual se volvía a llenar cada 3 días.

Se utilizaron 12 ratas Wistar de 21 días de nacidas con pesos similares, la cuales fueron separadas en dos lotes, siendo uno para caseína y otro para el cocol seleccionado bajo condiciones de temperatura y humedad, cada tres día se registró el peso ganado y la cantidad de alimento ingerido, y luego de pasados 28 días se realizaron los siguientes cálculos (AOAC de 1990).

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

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

Donde:

$\Delta P$ = Incremento de peso (g)



$\Sigma AI$  = Alimento ingerido total (g)

F = % de proteína en la dieta/100

PER exp = Valor de PER obtenido experimentalmente

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

PER caseína exp = Valor PER de la caseína obtenido en el bioensayo

#### 2.3.5.4. Digestibilidad *in vivo*

Durante la última semana de experimentación se recolectaron diariamente las heces de las ratas Wistar para su posterior determinación de nitrógeno, estas se mantuvieron en congelación hasta su uso. Se secaron y molieron para su homogenización y la toma de una muestra representativa.

Para la evaluación biológica se utilizó el método basado en la determinación de la digestibilidad aparente de la proteína (DA) con base en la siguiente ecuación (A.O.A.C., 1990):

$$DA = \frac{N_{consumido} - (N_{fecal} - N_{ingerido})}{N_{consumido}} * 100$$

#### 2.3.5.5. Determinación de almidón total

Se fundamenta 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 (Goñi *et al.*, 1997).

1. Se pesó 0.05g de muestra y se dispersó con KOH y se mantuvo en agitación constante por 30 minutos.
2. Pasando el tiempo se agregaron 3 mL de buffer acetato de sodio 0.4M
3. Después se agregaron 80  $\mu$ L amiloglucosidasa y se colocó en un baño por 45 minutos para que el almidón solubilizado se hidrolizara.
4. Posteriormente se centrifugó a 5000 rpm por 10 min.
5. Se determinó la glucosa, en el sobrenadante.
6. Se dejó reposar por 20 minutos y se leyó la absorbancia a 505 nm

#### 2.3.5.6. Determinación de almidón digerible

Se determinó por diferencia de la cantidad de almidón total menos la cantidad de almidón resistente.

$$AD = Almidon\ total - Almidon\ resistente$$



### 2.3.6. Características funcionales

#### 2.3.6.1. Determinación de fibra dietética

El fundamento del método de fibra dietética total contenida en los alimentos es gelatinizar el almidón con amilasa termorresistente y posteriormente realizar la digestión con proteasa y amiloglucosidasa para la remoción de proteínas y almidón. Precipitar con etanol la fibra dietética soluble. El total de la fibra dietética es el peso del residuo menos el peso de la proteína, cenizas y el blanco (CUNNIF, 1995).

1. Se pesó 0.1g de muestra
2. Se adicionaron 50 mL de buffer de fosfatos pH=6.0
3. Se adicionó 0.1 mL de  $\alpha$ -amilasa
4. Se colocó en un baño a ebullición durante 15 minutos.
5. Se ajustó el pH a 7.5
6. Posteriormente se adicionaron 0.1 mL proteasa preparada a cada matraz y se dejó a 60 °C por 30 min.
7. Se ajustó el pH a 4.0 - 4.6.
8. Se adicionaron 0.1 mL de amiloglucosidasa a cada matraz
9. Incubó en un baño a 60 °C por 30 min.
10. Se agregaron 280 mL a cada matraz de etanol al 95 % precalentado a 60 °C
11. Se dejó reposar 1 hora a temperatura ambiente
12. Pasada la hora se filtró sobre un papel filtro
13. Se lavo el residuo con 60 mL de etanol al 78 %
14. Se lavó nuevamente con 20 mL etanol al 95 %
15. Seguido de esto se lavó una última vez con 20 mL de acetona
16. Se secó el papel en estufa y se enfrió en un desecador para después pesar
17. Un papel se colocó en un crisol para la determinación de cenizas
18. El segundo papel se pesó para la determinación de proteínas.

$$\%FDT = \frac{mg \text{ de residuo} - mg \text{ de cenizas} - mg \text{ de proteínas} - mg \text{ del blanco}}{1000 \text{ mg de muestra}} * 100$$

#### 2.3.6.2. Capacidad antioxidante

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).

1. Se pesaron 0.1 g de muestra
2. Posteriormente se diluyó con 1 mL de metanol-HCl
3. Hirvió a baño maría por 10 minutos.
4. Enfrió y centrifugó a 9000 rpm por 10 min.
5. Se obtuvo el sobrenadante.
6. Después se colocó a 65 °C en bloque de calentamiento (abiertos) hasta su total evaporación.
7. La pastilla obtenida se disolvió con 1 mL de agua destilada.
8. Se centrifugó a 9000 rpm por 10 min.
9. De esta forma se obtuvo el extracto con el que se trabajó

Determinación de poder antioxidante.

1. Se tomaron extracto y solución DPPH por partes iguales.
2. Reposó 30 minutos en oscuridad absoluta.
3. Se leyó a 518 nm en el espectrofotómetro.

### **2.3.6.3. Determinación de fenoles**

Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin, dando lugar a una coloración azul susceptible. El ácido fosfomolibdótico, de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul, cuya intensidad es la que medimos para evaluar el contenido en polifenoles (Valadez *et al.*, 1990).

1. Se pesaron 0.1 g de muestra desengrasada
2. Posteriormente se diluyó con 1 mL de metanol-HCl
3. Hirvió a baño maría por 10 minutos.
4. Enfrió y centrifugó a 9000 rpm por 10 min.
5. Se obtuvo el sobrenadante.
10. Después se colocó a 65 °C en bloque de calentamiento (abiertos) hasta su total evaporación.
6. La pastilla obtenida se disolvió con 1 mL de agua destilada.
7. Se centrifugó a 9000 rpm por 10 min.
8. De esta forma se obtuvo el extracto con el que se trabajó

Determinación de fenoles.

1. Se tomaron 400  $\mu$ L de extracto y 3750  $\mu$ L agua destilada
2. Después se agregaron 250  $\mu$ L de reactivo Folin.
3. Se agitó y dejó reposar por 5 minutos





4. Se agregaron 500  $\mu\text{L}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , se agitó y se dejó reposar por 15 min.
5. Se leyó absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro.

#### **2.3.6.4. Determinación de almidón resistente**

Se fundamenta 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).

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. Posteriormente se agregó amilasa, se mezcló y se incubó a 37 °C.
5. Centrifugó a 5000 rpm y se desecharon los sobrenadantes.
6. Se agregaron KOH y se mantuvo en agitación.
7. Se agregaron buffer acetato de sodio.
8. Se agregaron amiloglucosidasa y se colocó en un baño a 60 °C.
9. Se centrifugó a 5000 rpm por 10 minutos.
10. Se determinó la glucosa con reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa.
11. Se leyó a una absorbancia de 505 nm

#### **2.3.7. Análisis sensorial**

##### **2.3.7.1. Determinación de volumen**

Se determinó el volumen de los cocoles de cada formulación propuesta para verificar cuál de ellos se presentaba más esponjoso con ayuda de un medidor de volumen el cual nos indica en  $\text{cm}^3$  el volumen ocupado por el pan gracias al desplazamiento de semillas de nabo encontradas en el interior de este instrumento.

##### **2.3.7.2. Prueba sensorial de preferencia**

Primero se realizó una prueba sensorial de preferencia donde 100 jueces no entrenados, sin importar sexo y una edad mínima de 10 años, evaluaron las tres diferentes formulaciones de pan tipo cocol (30 %, 50 % y 70 % amaranto) para poder elegir la formulación que más les gustara. En el anexo 1 se muestra el cuestionario dado a cada uno de estos jueces.





### 2.3.7.3. Prueba sensorial de nivel de agrado

Una vez obtenida la formulación seleccionada se realizó una prueba sensorial de nivel de agrado, igualmente contando con 100 jueces no entrenados, sin importar sexo y una edad mínima de 10 años, con la cual se determinó que tanto gustó el pan tipo cocol seleccionado, el cuestionario se muestra en el anexo 3.

### 2.3.8. Análisis estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado; calculando su media, desviación estándar y coeficiente de variación. Para las pruebas sensoriales se determinó la frecuencia de votos asignados y el promedio. Se analizaron las medias con la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significancia de 0.05, utilizando un programa estadístico Origin V.4.0.

## 3. Análisis y discusión de resultados

### 3.1 Análisis químico proximal de la materia prima

Los resultados del análisis químico proximal de la materia prima se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis químico proximal de harina de trigo y harina de amaranto

Muestra	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	CHO's (%)
Harina de trigo	9.451±0.47 <sup>a*</sup>	9.05±0.41 <sup>a</sup>	1.69±0.56 <sup>a</sup>	0.75 ± 0.068 <sup>a</sup>	2.06 ± 0.12 <sup>a</sup>	78.13 <sup>a</sup>
Harina de amaranto	10.44±0.06 <sup>a</sup>	23.51±1.46 <sup>b</sup>	3.93±0.025 <sup>b</sup>	1.98±0.026 <sup>b</sup>	6.445±0.134 <sup>b</sup>	53.70 <sup>b</sup>

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

Como se puede ver en la tabla 7, todos los componentes químicos muestran una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre las harinas de trigo y amaranto, a excepción de la humedad. El amaranto tiene casi tres veces más proteína que la harina de trigo, y esta tiene el doble de lisina que la proteína del trigo, el triple que la del maíz y es equiparable en contenido a la proteína de la leche de vaca, la cual se considera como estándar para una proteína de excelencia nutricional (Amarantum, 2005).



Por su parte, el contenido de grasa es tres veces mayor en el amaranto, este es otro aspecto bueno ya que contiene escualeno que es un potente antioxidante y fortalecedor del sistema inmune, se ha mostrado que el escualeno tiene un efecto benéfico para reducir los niveles de colesterol en sangre (Matías *et al.*, 2018). Así también, se han reportado que reduce el riesgo de varios tipos de cáncer, en especial el de colon (González, 2012). También, podemos encontrar ácidos grasos monoinsaturados como el oleico, linoleico y linolénico. Estos ácidos grasos son esenciales, pues nuestro organismo no puede sintetizarlos y se deben adquirir en la dieta. La presencia de alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados puede ser beneficioso en la disminución del nivel de colesterol total que está asociada con la baja incidencia de enfermedad cardiaca coronaria (Cintra *et al.*, 2006). El ácido linoleico aumenta las defensas y disminuye la presión arterial; mientras que el ácido oleico reduce los riesgos de sufrir enfermedades cardiovasculares y tiene efecto antitumoral. Ambos ácidos grasos cumplen funciones antiinflamatorias (Carrillo *et al.*, 2012).

El contenido de cenizas que presentó el amaranto fue el doble que, en el trigo, esto es de gran importancia pues el amaranto contiene zinc, fosforo, hierro, potasio, calcio, inclusive el calcio se encuentra en una proporción mayor que en la leche materna (Sánchez *et al.*, 1986).

Por su parte, la fibra cruda presentó alrededor de 3 veces más cantidad en la harina de amaranto, igualmente es de suma importancia debido a que previene enfermedades cardiovasculares, ya que disminuyen los niveles de colesterol en la sangre, ayuda a dar mayor volumen a las heces, y además contribuye a que los alimentos pasen más rápido a través del estómago y de los intestinos (Liberona, 2020).

### 3.2. Análisis nutrimental de la materia prima

En la tabla 8 se pueden observar los resultados obtenidos del análisis nutrimental hechos tanto a la harina de trigo como a la de amaranto.

Tabla 8. Análisis nutrimental de harina de trigo y amaranto

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Triptófano (g Trp/100 Prot)	Almidón total (%)	Almidón digerible (%)
Harina de trigo	79.09±0.34 <sup>a</sup> *	1.05±0.006 <sup>a</sup>	76.41±1.27 <sup>a</sup>	59.3 <sup>a</sup>
Harina de amaranto	85.85±1.30 <sup>a</sup>	2.45±1.41 <sup>b</sup>	60.77±0.19 <sup>b</sup>	53.46 <sup>a</sup>

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





La harina de amaranto y la de trigo no presentaron una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) y ambos cuentan con una digestibilidad *in vitro* buena, y es uno de los parámetros utilizados para medir el valor nutricional debido a que no basta que la proteína u otro elemento se encuentre en altos porcentajes en el alimento, sino que debe ser digerible para que pueda ser asimilado y, por consecuencia, aprovechado por el organismo que lo ingiere (Manríquez, 2021).

En cuanto al triptófano fue 2.5 veces mayor para el caso del amaranto que en el trigo y presentaron una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ), este aminoácido es uno de los esenciales en la nutrición humana, ya que nuestro organismo no puede sintetizarlo, es también un precursor imprescindible para la síntesis de serotonina. Además, se ha demostrado que la concentración de este neurotransmisor en el cerebro es directamente proporcional a la concentración de triptófano en el plasma y el cerebro (Vilaplana, 2016).

En el caso de almidón total también se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) esto es normal pues se ha reportado que la harina de trigo es principalmente almidón, mientras en el grano de amaranto este carbohidrato representa un porcentaje menor (Amanecer en el campo, 2011), es por eso que, el consumo alto de productos elaborados con harina de trigo podrían desencadenar a cierto plazo enfermedades como obesidad, incremento de los niveles de glucosa en la sangre, diabetes, entre otros (Patia, 2021).

### 3.3. Análisis funcional de la materia prima

Se evaluaron también los parámetros funcionales de las harinas trabajadas y los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Análisis funcional de harina de trigo y amaranto

Muestra	Fenoles (mg EAG/g mtra)	Capacidad antioxidante (%)	Almidón resistente (%)	Fibra dietética (%)
Harina de trigo	$0.31 \pm 0.005^{a*}$	$7.03 \pm 0.2^a$	$17.11 \pm 0.14^a$	$2.035 \pm 0.219^a$
Harina de amaranto	$1.96 \pm 0.030^b$	$74.99 \pm 0.1^b$	$7.31 \pm 0.14^b$	$11.61 \pm 0.09^b$

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

Se presentó una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) para los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, siendo de 6.3 y 10 veces mayor en la harina de amaranto que en la de trigo respectivamente, este es un resultado que se podría esperar pues se sabe que el grano de amaranto tiene una capacidad





antioxidante tan buena como la de otros cereales, comparable a la de la soya y el arroz, y el principal componente que provee actividad en el grano de amaranto son los polifenoles (Repo-Carrasco *et al.*, 2009). Este pseudocereal contiene compuestos fenólicos como: ácido cafeico, ácido p-hidroxibenzoico y ácido ferúlico, también contiene fitoesteroles los cuales muestran actividad hipocolesterolemia y antiviral (Álvarez *et al.*, 2010).

Además, posee un contenido alto de escualeno, el cual es un antioxidante para nuestro cuerpo, fortalece el sistema inmune del cuerpo y reduce la concentración de colesterol asociado a lipoproteínas de densidad baja (colesterol LDL). También posee vitaminas y minerales que actúan como antioxidantes y captadores de radicales libres (Milán-Carrillo *et al.*, 2012).

Para los casos de almidón resistente y fibra dietética se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre ambas harinas.

El contenido de almidón resistente fue mayor en el trigo por poco más del doble, esto probablemente se deba a un mal almacenamiento del producto comercial que promueve la formación de este tipo de almidón (Villarroel *et al.*, 2018).

El contenido de fibra dietética fue casi 5 veces mayor en el amaranto, esto es importante ya que esta fibra incluye componentes solubles e insolubles como polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas. Los componentes solubles promueven efectos fisiológicos beneficiosos, atenuando los niveles de colesterol y glucosa en la sangre, previniendo problemas cardiovasculares y diabetes. La fibra insoluble tiene efectos positivos en la prevención del cáncer y de la regulación intestinal (Trino *et al.*, 2017).

### **3.4. Cocolos y resultados de la prueba sensorial de preferencia**

En la tabla 10 se muestran los cocolos obtenidos con las diferentes formulaciones propuestas. Se le determinó el volumen a cada cocol de cada formulación. El cocol con 70 % de amaranto fue el que tuvo el volumen más pequeño, además, estuvo más seco y fibroso y con un sabor más notorio a amaranto. Esta sensación de fibra fue del agrado de varios jueces dentro de la prueba sensorial. El cocol con 50 % de amaranto tuvo una textura, olor y sabor regular, no tan dulce ni tan insípido.

Los volúmenes obtenidos se pueden atribuir a la cantidad de harina de trigo presente en cada formulación, pues el gluten de trigo es de gran importancia para proporcionar estructura y un producto esponjoso (Seghezzi & Molfese, 2006). Por lo tanto, mientras más pequeño sea el porcentaje de harina de trigo empleado en la formulación, menor volumen será obtenido en el producto final, debido a la cantidad de gluten que se logra desarrollar en esta.





Tabla 10. Cocolos elaborados con las diferentes formulaciones propuestas y su volumen

Muestra			
Formulación	30 % amaranto 60 % trigo 10 % gluten	50 % amaranto 40 % trigo 10 % gluten	70 % amaranto 20 % trigo 10 % gluten
Volumen	221.67 <sup>a</sup> cm <sup>3</sup>	205 <sup>a</sup> cm <sup>3</sup>	175 <sup>b</sup> cm <sup>3</sup>

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

Una vez propuestas las formulaciones se llevó a cabo una prueba sensorial de preferencia con 83 jueces no entrenados, los resultados se pueden observar en la tabla 11 y en el anexo 1 se presenta la encuesta realizada para esta prueba sensorial.

Tabla 11. Resultados de la evaluación sensorial de preferencia de las diferentes formulaciones del cocol

Formulación	Clave	Puntaje total
30 % amaranto 60 % trigo 10 % gluten	310	182 <sup>a</sup>
50 % amaranto 40 % trigo 10 % gluten	520	146 <sup>b</sup>
70 % amaranto 20 % trigo 10 % gluten	730	172 <sup>a</sup>

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

Como se observa en la tabla 11 la formulación con 30 y 70 % de amaranto no tuvieron diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) pero estos dos si lo fueron con la formulación con 50 % de amaranto, que fue la que menos gusto, quedando de esta manera rechazada al ser la de menor preferencia. De las dos que más gustaron, la formulación con menos amaranto recibió comentarios más favorables de los jueces, como los siguientes:

“Es más suave y de buen sabor”, “Más esponjoso, dulce y mejor textura”, “Mejor sabor y olor”

Estas opiniones coinciden con las características que debe tener un pan dulce.

Mientras que la formulación de 70% amaranto recibió comentarios del tipo:





“Muy fibrosa”, “Algo seca”, “No esponjosa”

Opiniones que no llegan a encajar con las características del este tipo de panes, por este motivo dicha formulación también quedó descartada.

Con base en estos resultados, y que en valores absolutos obtuvo mayor preferencia, se determinó como la formulación seleccionada la que contenía 30 % amaranto, 60 % trigo y 10 % gluten, por lo tanto, a esta muestra se le realizaron los siguientes análisis, así como a una muestra control elaborada solo con trigo: análisis químico proximal, nutrimental y funcional.

### 3.5. Análisis químico proximal del cocol control y seleccionado

En la tabla 12 se presentan los resultados del análisis químico proximal realizado tanto al cocol control como al cocol seleccionado.

Tabla 12. Análisis químico proximal del cocol control y seleccionado

Muestra	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	CHO's (%)
Cocol control	5.56 ± 0.17 <sup>b*</sup>	19.45 ± 0.08 <sup>a</sup>	6.66±0.25 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.025 <sup>a</sup>	5.535±0.417 <sup>a</sup>	56.40 <sup>a</sup>
Cocol 30 % amaranto	3.43 ± 0.08 <sup>a</sup>	26.286±0.44 <sup>b</sup>	11.96±0.12 <sup>b</sup>	1.29 ± 0.01 <sup>b</sup>	5.005±0.08 <sup>a</sup>	57.39 <sup>a</sup>

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

Existen diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la mayoría de los componentes del cocol control comparado con el seleccionado. La proteína es 1.4 veces mayor en el cocol seleccionado respecto al control, esto se debe a la adición de harina integral de amaranto ya que aumentó el contenido proteico, representando dicho incremento una mayor cantidad de proteínas de mayor valor biológico para consumo humano, debido a su composición aminoacídica (Silva-Sánchez *et al.*, 2008) respecto al cocol control. Compensando de esta manera la deficiencia de aminoácidos esenciales que presenta la harina de trigo, ya que al contener cantidades muy pequeñas de metionina, lisina y triptófano se considera una proteína de baja calidad (García, 2006). En general el contenido de aminoácidos esenciales del amaranto tiene niveles adecuados; 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 %) (Silva, 2007). La composición de aminoácidos del amaranto es poco usual debido a su balance cercano al óptimo requerido en la dieta humana en adultos según la FAO (Sánchez, 2007), lo que hace





de este grano una cosecha promisoriosa como alimento o fuente de proteínas en la dieta (Silva, 2007).

Para el caso de la grasa, el seleccionado presenta 1.8 veces más que el control, esto puede deberse a la adición de amaranto, sin embargo, hay que recordar que dentro de esta grasa presente en el amaranto se encuentran varios ácidos grasos, tocoferoles y escualeno, los ácidos grasos más abundantes en el aceite crudo son: ácido linoleico, oleico y palmítico, algo característico y especial de la fracción lipídica del amaranto es su elevado contenido de escualeno, se sabe que este hidrocarburo es un intermediario en la biosíntesis del colesterol y su consumo disminuye la concentración de colesterol en la sangre, además de tener un efecto antioxidante (Algara, 2016).

El contenido de cenizas se encuentra presente 1.2 veces más en el cocol seleccionado en comparación con el control, presentando al igual que los componentes anteriores diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), este aumento puede deberse gracias a la adición de harina de amaranto y esto a su vez podría indicarnos la presencia de los minerales aportados por el amaranto, especialmente Ca y Fe. La muestra control fue la que presentó el menor contenido de cenizas debido a que esta se elaboró solo con harina de trigo, a la cual, en el proceso de molienda se le retira el pericarpio que es la parte de la semilla en donde está el mayor contenido de estos micronutrientes (Edel y Rosell, 2007).

Por su parte, tanto la fibra como los carbohidratos no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), esto probablemente a la influencia del resto de los ingredientes como lo son el anís, ajonjolí y piloncillo.

### 3.6. Análisis nutrimental del cocol control y seleccionado

A continuación, en la tabla 13 se podrán observar los valores obtenidos del análisis nutrimental para los dos tipos de cocolos realizados.

Tabla 13. Análisis nutrimental del cocol control y seleccionado

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Triptófano (g Trp/100 Prot)	Almidón total (%)	Almidón digerible (%)
Cocol control	91.21±1.29 <sup>a</sup>	0.745±0.07 <sup>a</sup>	66.42±0.36 <sup>a</sup>	59.25 <sup>a</sup>
Cocol 30 % amaranto	94.22±1.30 <sup>a</sup>	0.542±0.06 <sup>b</sup>	53.83±0.31 <sup>b</sup>	45.09 <sup>b</sup>

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

A pesar de que en la digestibilidad *in vitro* no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las dos muestras analizadas, los dos valores son adecuados, por lo que se pueden considerar a los cocolos como un producto con un buen aprovechamiento de proteínas (Montero *et al.*, 2015).





Por otro lado, el triptófano presentó diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), siendo 40 % mayor en el cocol control en comparación del seleccionado, esto probablemente se deba a la incorporación de gluten, el cual aumenta el contenido de proteína, pero es pobre en triptófano. Se midió el contenido de triptófano ya que es el aminoácido que se encuentra en menor cantidad en el amaranto, además es sensible a altas temperaturas y es importante corroborar si tolera el proceso de horneado (Calaveras, 2004), por lo tanto, el contenido de este aminoácido en el cocol seleccionado podría indicar que los demás aminoácidos esenciales podrían estar presentes en el producto final.

Por último, tanto el almidón total como el digerible presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), siendo estos dos menores en el seleccionado que en el control, esto es bueno porque ayuda a reducir el índice glucémico, ya que se disminuyen los niveles de azúcar en la sangre (Perlmutter, 2013).

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

Se evaluó la Relación de Eficiencia Proteica y Digestibilidad *in vivo* en ratas alimentadas con una dieta de caseína y cocol seleccionado, en la tabla 14 se puede ver la comparación de resultados.

Tabla 14. Relación de Eficiencia Proteica (PER), PER ajustado y Digestibilidad *in vivo* del cocol seleccionado.

Muestra	PER	PER ajustado	Digestibilidad <i>in vivo</i>
Cocol seleccionado	0.15±0.03	0.17	96.89
Caseína	4.77±0.153	---	98.18

Un valor de PER entre 1.5-2 indica una proteína de buena calidad (Friedman, 1996), sin embargo, los resultados obtenidos para el cocol seleccionado no fueron los esperados a pesar de tener los antecedentes tanto bibliográficos como experimentales mostrados con anterioridad de que la proteína del amaranto es de excelente calidad, entonces podemos suponer que esto se debe a una variable de importancia que según Cossio *et al*, (2013), se requiere tener bajo control y esta es la edad de los ratones utilizados al momento de la experimentación. Por situaciones externas los ratones utilizados fueron mayores a 21 días, aproximadamente 10 días de más por lo que esto pudo afectar en su adaptación a una nueva dieta y así influir en los resultados. También, podría atribuirse a cambios fisicoquímicos que se puedan ocasionar en el amaranto durante el horneado, esto debido a las altas temperaturas con las que se trabaja en este proceso.





Sin embargo, los músculos de los ratones si presentaron un crecimiento, esto puede ser gracias al alto contenido de proteínas presentes en el cocol seleccionado, recordando que uno de los aminoácidos esenciales que se encuentra en mayor proporción en el grano de amaranto es la leucina (Tabla 4), esta es un componente fundamental para ayudar a la construcción y el mantenimiento de los tejidos musculares. Es por eso que su presencia es clave para prevenir el deterioro y el envejecimiento del organismo. Tanto es así que se estima que la leucina, junto con otros aminoácidos esenciales, constituye un tercio de la proteína de nuestra masa muscular. Así consigue preservar durante más tiempo el tejido muscular y ayuda al fortalecimiento general, previniendo la atrofia y reduciendo las molestias que se pueden producir en músculos y tejidos con el paso del tiempo (Fisiocrem, 2021).

Algunos de los hígados de los ratones alimentados con dieta de cocol seleccionado parecen tener un poco de grasa comparándolos con los de caseína, sin embargo, no parece ser importante ya que en estos casos no hay inflamación o daño en las células del hígado y no es serio como para causar daño o complicaciones al hígado (MedlinePlus, 2021). Los músculos e hígados, así como sus pesos, de los ratones con dieta de cocol y caseína se muestran en el anexo 5.

Por su parte, la digestibilidad *in vivo* obtuvo un buen resultado ya que la FAO reporta como una baja digestibilidad de 79.80 %, por lo que podemos decir que el cocol con 30 % de harina de amaranto tiene una muy buena digestibilidad aparente *in vivo*.

### 3.8. Análisis funcional del cocol control y seleccionado

En la tabla 15 se pueden apreciar los datos obtenidos para el análisis funcional tanto del cocol control como el cocol seleccionado.

Tabla 15. Análisis funcional del cocol control y seleccionado

Muestra	Fenoles (mg EAG/g mtra)	Capacidad antioxidante (%)	Almidón resistente (%)	Fibra dietética (%)
Cocol control	1.243±0.06 <sup>a*</sup>	34.95±0.34 <sup>a</sup>	7.17±0.10 <sup>a</sup>	8.94±0.18 <sup>a</sup>
Cocol 30 % amaranto	2.433±0.21 <sup>b</sup>	74.678±0.61 <sup>b</sup>	8.74±0.49 <sup>b</sup>	10.51±0.15 <sup>b</sup>

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

Como se puede observar, tanto en el contenido de fenoles como en la capacidad antioxidante se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), siendo 2 y 2.2 veces respectivamente mayor en el seleccionado en comparación con el control, debido a la adición de la harina integral de amaranto, estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor, su presencia en este producto





es importante debido a su capacidad antioxidante, tanto como captadores de radicales libres como quelantes de metales (Creus, 2004). Además, la miel de piloncillo utilizada para la elaboración del cocol contiene polifenoles que son importantes por sus propiedades biológicas, sus efectos antioxidantes, y su posible función en la prevención de enfermedades crónico-degenerativas que involucran el estrés oxidativo, así como también su efecto protector contra la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL), por eso, se supone que la capacidad antioxidante del cocol control fue alta (Narasimhan *et al.*, 1995).

El almidón resistente y la fibra dietética también presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), siendo mayores 1.2 veces para ambos casos. El almidón resistente es una fracción del almidón que es capaz de resistir a la digestión y se mantiene íntegro a lo largo del tracto gastrointestinal. Una de las ventajas de este almidón es otorgar beneficios fisiológicos asociados a la salud. Desde el punto de vista fisiológico, el almidón resistente es capaz de modular la cinética de digestibilidad de los nutrientes, lo que posibilita su incorporación en el diseño de productos con menor índice glicémico y menor poder energético. La modulación del metabolismo de la glucosa y los lípidos, así como las posibles asociaciones con la salud del microbiota, indican que el almidón resistente podría ser un ingrediente con un gran potencial en el tratamiento de enfermedades crónicas (Villaruel *et al.*, 2018).

El mayor contenido de fibra dietética presente en el cocol seleccionado se debe a la incorporación de harina de amaranto, esta fibra llega al intestino grueso de forma inalterada y aquí las bacterias del colon, con sus numerosas enzimas de gran actividad metabólica, pueden digerirla en mayor o menor medida dependiendo de su estructura. Los principales productos de la fermentación de la fibra son: ácidos grasos de cadena corta, gases (hidrógeno, anhídrido carbónico y metano) y energía. Los ácidos grasos de cadena corta se absorben rápidamente en más del 90 % por los colonocitos (los cuales son las células que recubren el epitelio del intestino grueso o colón) por lo que también se acompaña de una importante absorción de sodio y agua, lo que disminuye la diarrea que se asocia a la mala absorción de carbohidratos.

La fibra juega un papel en todas las funciones del sistema digestivo desde la masticación hasta la evacuación de las heces. Las dietas con un contenido en fibra elevado, como es el caso del cocol seleccionado en comparación con el control o tradicional, requieren más tiempo de masticación por lo que disminuye la velocidad de deglución y esto implica una mayor salivación que va a repercutir en la mejora de la higiene bucal. Además, provoca una sensación de saciedad, lo que ayuda a evitar que este tipo de productos panificados se ingieran en exceso (Escudero y González, 2006).





### 3.9. Análisis sensorial de nivel de agrado

Se realizó una prueba de nivel de agrado al cocol seleccionado (30 % amaranto), los resultados se pueden apreciar en la tabla 16 y en el anexo 4, la encuesta realizada para esta prueba se encuentra en el anexo 3.

Tabla 16. Calificación y nivel de aceptación del cocol seleccionado

Formulación	Calificación	Aceptación (%)
60 % harina de trigo	8.99	93.10 %
30 % harina de amaranto		
10 % gluten		

El cocol obtuvo una excelente calificación en una escala del 1 al 10 para un nuevo producto y una muy buena aceptación por parte de los consumidores (tabla 16). Algunos de los comentarios que se recibieron fueron que tenía un muy buen sabor, era dulce y le recordaba a su infancia pues tenía un sabor a pan de pueblo.

La incorporación de harina integral de amaranto ayudó a la mejora de su calidad nutrimental y funcional sin afectar el buen sabor descrito por los jueces, de esta manera se puede ofrecer al público un producto mejor a lo que están acostumbrados a consumir.



## Conclusiones

- ❖ La harina de amaranto tuvo una mejor calidad química, nutrimental y funcional que la harina de trigo por lo que es una buena opción para la elaboración de productos panificables ya que puede mejorarlos.
- ❖ Se pudo elaborar un cocol, con buenas características sensoriales, con las tres formulaciones propuestas y la mejor fue la que contenía 30 % de amaranto, 60 % de trigo y 10 % de gluten.
- ❖ El cocol seleccionado tuvo una mejor calidad química, nutrimental y funcional que el cocol control (100 % trigo), presentando mayor contenido de proteínas, cenizas, grasa, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética, así como menor cantidad de almidón total y digerible y un muy buen valor de digestibilidad *in vitro*, así como digestibilidad aparente *in vivo*, por su parte componentes como la fibra cruda y carbohidratos totales presentaron resultados similares sin tener una diferencia estadísticamente significativa. Y a pesar de que el cocol seleccionado obtuvo menor porcentaje en cuanto a triptófano comparado con el cocol control, podemos destacar que este aminoácido esencial, el cual llega a ser muy sensible a las altas temperaturas, está presente en el producto final, lo que nos puede indicar que el resto de los aminoácidos esenciales también se encuentran en el producto final.
- ❖ El cocol seleccionado tuvo una muy buena aceptación por parte de los consumidores con un 93 % y una calificación excelente de 8.99 en una escala del 1 al 10, por lo que podría ser una buena opción su comercialización en un futuro.



## Bibliografía

- Algara, P. (2016). El amaranto y sus efectos terapéuticos. Revista académica de investigación. No. 21. España.
- Álvarez, I; Arendt, E; Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten free ingredients. Food science & technology, 2(11)
- Amanecer en el campo. (2011). El amaranto. Fecha de consulta: octubre 2021. Disponible en:  
<http://www.amanecerenelcampo.net/amaranto.htm>
- Amarantum. (2005). El Amaranto: Proteína de alta calidad nutricional. Fecha de consulta: octubre 2021. Disponible en:  
<http://www.amarantum.com/amaranto-salud/amaranto.htm>
- A.O.A.C. (2005). Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists-International Gaithersburg, Maryland, USA.
- A.O.A.C. (1990). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemistry. Eds Howitz W. Washington. (Método 960.48).
- ASERCA, Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. (2019). ¿Harina integral o refinada? Fecha de consulta: diciembre 2021. Disponible en:  
<https://www.gob.mx/aserca/articulos/harina-integral-o-refinada-dos-productos-del-mismo-costal?idiom=es>
- Barba, A. (2021). Amaranto: una alegría para nuestra salud. CONACYT. Fecha de consulta: mayo de 2021. Disponible en:  
<https://centrosconacyt.mx/objeto/amaranto/>
- Beltrán, M. (2016). Alimentos funcionales. Farmacia profesional, 30(3).
- Bruno, A. (2018). Anatomía de un grano de trigo. Fecha de consulta: mayo de 2021. Disponible en:  
<http://albertbrunollach.com/es/grano-2/>
- Buhler. (2012). El trigo, Producción de cereales y variedades de trigo. Suiza





- Calaveras J. (2004). Nuevo Tratado de Panificación y Bollería. AMV Ediciones. Madrid, España. Segunda Edición
- Carpio, J. (2009). Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto (*Amaranthus spp.*). Tesis de licenciatura. Universidad de El Salvador.
- Carrasco, M; Hernández, L; Roldán, J; Chávez, A; Aguirre, J; Aguilar, F. (2010). Efecto del consumo de una harina de maíz enriquecida con soja en el estado de nutrición de mujeres indígenas de México. Rev. Esp. Salud Publica, 87(39).
- Carrillo, C; Cavia, M; Alonso-Torre, S. (2012). Antitumor effect of oleic acid; mechanisms of action. A review. Nutrición Hospitalaria, 27(5), 1860-1865
- Castañeda, J. (2016). Dulcerías tradicionales. Fecha de consulta: octubre de 2021. Disponible en: <https://masdemx.com/2016/07/delicioso-catalogo-de-dulces-tradicionales-mexicanos/>
- Cazares, M. (2011). Evaluación físico-química y farinográfica de la harina de trigo (*triticum aestivum*) obtenida en los pasajes de molienda de la industria "Molinos Miraflores". Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
- Cintra, D; Costa, A; Peluzio Mdo, C; Matta, S; Silva, M; Costa, N. (2006). Lipid profile of rats fed highfat diets based on flaxseed, peanut, trout, or chicken skin. Nutrition, 22(2).
- Clarisbel, (2018). Cuáles son los componentes de la harina de trigo. Fecha de consulta: junio de 2021. Disponible en: <http://www.recetadepan.com/componentes-harina-trigo>
- Coaguila, V. (2018). Evaluación Del Proceso Operacional De La Planta De Molino Victoria. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. Perú.
- Cossio, M; Gómez, R; Vargas, R; Hochmuller, R; Arruda, M. (2013). Curvas de referencia para valorar el crecimiento físico de ratas machos Wistar. Nutr Hosp. 2013;28(6):2151-2156
- Conciencia eco (2014). El exceso de harinas refinadas es perjudicial para la salud. Fecha de consulta: junio de 2021. Disponible en:





<https://www.concienciaeco.com/2014/11/05/el-exceso-de-harinas-refinadas-es-perjudicial-para-la-salud/>

- Cortés, Y. (2011). Desarrollo de un pan complementado con harina de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- CUNNIF, P. (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16<sup>th</sup> edition, USA.
- CurioSfera (2019). Historia del pan, origen y evolución. Fecha de consulta: mayo 2021. Disponible en:  
<https://curiosfera-historia.com/historia-del-pan/>
- Creus, E. (2004). Compuestos fenólicos, un análisis de sus beneficios para la salud. *Ámbito farmacéutico*. OFFARM. 3(6).
- Delicias prehispánicas (2020). Origen de la palabra cocol y su receta. Fecha de consulta: julio de 2021. Disponible en:  
<https://deliciasprehispanicas.com/2015/11/20/origen-de-la-palabra-cocol-receta/>
- EcoAndes. (2016). Harina de amaranto. Fecha de consulta: junio de 2022. Disponible en:  
<https://productosecoandes.com/harina-de-amaranto/#:~:text=La%20harina%20de%20amaranto%20se,tiendas%20regulares%20tambi%C3%A9n%20la%20comercializan.>
- Edel, A; Rosell, C. (2007). De tales harinas, tales panes. Córdoba, Argentina: ISEKI-Food.
- Escudero, E; González, P. (2006). La fibra dietética. Unidad de Dietética y Nutrición. Hospital La Fuenfría. *Nutr. Hosp.* vol.21. Madrid.
- European. (2020). El pan y México, una historia milenaria. Fecha de consulta: mayo 2021. Disponible en:  
<https://blog.european.mx/historia-pan-artesanal-mexico>
- Excelsior (2020). ¿Sabes qué es en realidad el Cocol? Fecha de consulta: mayo de 2021. Disponible en:  
<https://www.excelsior.com.mx/trending/sabes-que-es-en-realidad-el-cocol-aqui-te-explicamos/1402423>



- FAO/WHO/UNU. (1986). Special Report. Energy and protein requirements. *Cereal Foods World* 3:694-695.
- Fisiocrem. (2021). La leucina y sus beneficios. Fecha de consulta: enero 2022. Disponible en: <https://www.fisiocrem.es/blog/ingredientes-naturales/leucina/>
- Friedman, M. (1996). Nutritional value of proteins from different food sources. *Revista americana chemical society*, 44(1), 6-29
- García, L. (2006). Ampliación de la sección de molienda y cernido de una fábrica de harina de trigo. Universidad de Cádiz. 299 pp.
- García, V. (1988). La alimentación en la ciudad de México: el consumo de pan en el siglo XVIII. Fecha de consulta: junio de 2021. 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)
- González, C. (2012). Evaluación fisicoquímica y capacidad antioxidante del aceite de amaranto (*Amarantus hypochondriacus*) y estabilidad oxidativa de diferentes sistemas de encapsulación. Universidad Autónoma de Querétaro. México. Fecha de consulta: octubre 2021. Disponible en: <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/447/1/RI000263.pdf>
- Gottau, G. (2021). Cómo llega una harina a ser refinada y cuál es su efecto en nuestro organismo. Fecha de consulta: octubre de 2021. Disponible en: <https://www.vitonica.com/alimentos/como-llega-harina-a-ser-refinada-cual-su-efecto-nuestro-organismo>
- Goñi, I; García, A; Saura, F. (1997). Starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17(3):427-437.
- Goñi, L; García, E; Mañas; Saura, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry* 56(4): 445-449.
- Hernández, C; Botín, A; Londoño, P; Mieres, A. (2013). Efecto del acondicionamiento del trigo sobre la calidad de la harina panadera. *Ingeniería y Sociedad UC*. Vol. 8, No 1. Venezuela.
- Hugo, W & Godiño, M. (2000). Tecnología de almacenamiento de granos de trigo. Unidad de Difusión e Información Tecnológica. Uruguay. Pág. 3-5.



- 
- Hsu, H; Vavak, D; Satterlee, D; Miller, G. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal Food Science*. 42 (5): 1269-1273.
  - Jiménez, E. (2017). Caracterización Morfológica, Física Y Fenológica De Cuatro Variedades Deamaranto (*Amaranthus sp.*) Para Las Condiciones Meteorológicas Del Cantón Cevallos. Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ciencias Agropecuarias. Ecuador.
  - Karelj. (2013). *Amaranthus hypochondriacus* L. Red de Herbarios del Noreste de México. Fecha de consulta: diciembre 2021. Disponible en: <https://herbanwmex.net/portal/imagelib/imgdetails.php?imgid=457671>
  - Larousse cocina. (2021). Cocol. Fecha de consulta: abril 2021. Disponible en: <https://laroussecocina.mx/palabra/cocol/>
  - Liberona, J. (2020). Los 4 principales beneficios de la fibra. Fecha de consulta: octubre 2021. Disponible en: <https://www.clinicauandes.cl/noticia/los-4-principales-beneficios-de-la-fibra>
  - Londoño, J. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista. Capítulo 9. Parte III. Antioquia, Colombia.
  - López, D. (2021). Elaboración de un dulce tradicional “muégano” con harinas de trigo y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
  - Manríquez, J. (2021). La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos, su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. FAO. Fecha de consulta: octubre 2021. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ab482s/ab482s08.htm>
  - Mapes, E. (2015). El Amaranto. Universidad Nacional Autónoma de México. México. México
  - Martínez, E; Mátar, I. (2017). Elaboración de harina de amaranto. UTN Facultad Regional San Rafael.
  - Matías, G; Hernández, B; Peña, V; Torres, N; Espinoza, V; Ramírez, L. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus spp.*). *Journal of negative and no positive results*. Oaxaca, México.



- MedlinePlus. (2021). Hígado graso. Fecha de consulta: enero 2022. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/fatty liverdisease.html>
- Milán-Carrillo, J; Montoya, A; Reyes, C. (2012). High-antioxidant capacity beverages based on extruded and roasted amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) flour. *Hispanic foods: chemistry and bioactive compounds* 1109:199-216.
- Montero, K; Moreno, R; Alí, E; Colina, M; Sánchez, A. (2015). Efecto del consumo de panes integrales con amaranto (*Amaranthus dubius Mart; ex Thell*) sobre la respuesta glicémica y parámetros bioquímicos en ratas Sprague dawley. *Revista Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 313-320.
- Morato, N. (2009). Del grano a la harina. Fecha de consulta: junio de 2021. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5818/1/CD-4696.pdf>
- Moreno, I; Ramírez, A; Plana, R; Iglesias, L. (2001). El cultivo del trigo. algunos resultados de su producción en Cuba. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*. vol. 22, núm. 4. pp. 55-67.
- Narasimhan, R; Toshihiko, O; Hiroto, O; Shun, K. (1995). La contribución de los antioxidantes de los alimentos vegetales a la salud humana. *Trends Food Sci Technol*; 6: 75 - 82.
- NMX-F-007-1982. (1982). Norma Mexicana NMX-F-007-1982 Harina de trigo. Secretaria de Salubridad y Asistencia. Dirección General de Control de Alimentos, Bebidas y Medicamentos.; Lance, S.A.; Nabisco famosa, S.A.; Gerencia de Coordinación de Productos, Comercialización y Servicios de Filiales CONASUPO. México.
- Panadería casera y algo más. (2020). Cocolos de Aniz y piloncillo. Fecha de consulta: mayo 2021. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=OARsyt8kFdA>
- Paredes, O. (2001). De ofrenda de los dioses a cultivo olvidado. *Alimentos mesoamericanos: el amaranto*.
- Patia (2021). Obesidad y diabetes. Fecha de consulta: octubre 2021. Disponible en:





<https://www.patiadiabetes.com/mx/patia/diabetes/obesidad-y-diabetes/>

- Perlmutter, David (2013). Cerebro de pan. La devastadora verdad sobre los efectos del trigo. Revista gestión de las personas y tecnología. Buenos aires, editorial Grijalbo, edición n°22
- Portal mexicano. (2017). Producirán el Cocol más grande del mundo vecinos de San Francisco Zentlalpan. Fecha de consulta: abril 2021. Disponible en:  
<https://portalmexiquense.com.mx/produciran-el-cocol-mas-grande-del-mundo-vecinos-de-san-francisco-zentlalpan-e3TQwNDE0e3Q.htm>
- PROFECO (2017). Encuesta sobre los hábitos de consumo de pan de dulce de harina de trigo. Dirección General de Estudios sobre Consumo. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279977/Encuesta\\_sobre\\_los\\_habitos\\_de\\_consumo\\_de\\_pan\\_de\\_dulce\\_de\\_harina\\_de\\_trigo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279977/Encuesta_sobre_los_habitos_de_consumo_de_pan_de_dulce_de_harina_de_trigo.pdf)
- Rama, M; Tara, M; Krishnan, C. (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. Journal Food Science and Technology. 11:213-216.
- Repo-Carrasco; Valencia, R; Peña, J; Kallio, H; Salminen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Journal of Cereal Science 49, 219-224
- Roa, D. (2015). Métodos de molienda seca y húmeda en molino planetario para la obtención y caracterización de fracciones de amaranto y su aplicación como agente encapsulante. Tesis de doctorado. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- SAGARPA. (2017). Trigo grano, cristalino y harinero mexicano. Fecha de consulta: abril 2021. Disponible en:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B\\_sico-Trigo\\_Cristalino\\_y\\_Harinero.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sico-Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf)
- Sánchez, S. (1986). Enriquecimiento del maíz con harina de amaranto en la elaboración de tortilla. P. 421-435. En: primer seminario nacional del amaranto. Chapingo, México
- Seghezzo, M. & Molfese, E. (2006). Calidad en trigo pan. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires.

- 
- Segura-Nieto, M; Barba de la Rosa, A; Paredes-López, O. (1994). Biochemistry of amaranth proteins. En: *Amaranth Biology, chemistry and technology*. O Paredes-López (Ed.) CRC Press, Chap 5.
  - Silva, C. (2007). Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) cultivado en San Luis Potosí. Tesis de doctorado. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
  - Silva-Sánchez, C; Barba de la Rosa, A; León-Galván, M; De Lumen, B; De León-Rodríguez, A; De Mejía, E. (2008) Bioactive peptides in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed. *J. Agric. Food Chem.* 56: 1233-1240.
  - Solano, R. (2002). Cuantificación del contenido de ácido fítico en cuatro harinas del grano de amaranto obtenidas con diferentes tratamientos y en el grano sin tratar. Universidad de El Salvador Facultad de Química y Farmacia.
  - Soto, V. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa cavendishii*) y banana verde (*Musa paradisíaca*). *Revista Boliviana de Química* Vol. 27.
  - Trino, R; Grados, R; Gutiérrez, M; Mamani, D; Pérez, J; Magariños, W; Arías, J; González, D. (2017). Evaluación del aporte nutricional del amaranto (*amaranthus caudatus linnaeus*), quinua (*chenopodium quinoa willd*) y tarwi (*lupinus mutabilis sweet*) en el desayuno. *Rev.Cs.Farm. y Bioq* vol.5 no.2 La Paz. Fecha de consulta: octubre 2021. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2310-02652017000200003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2310-02652017000200003&script=sci_arttext)
  - UNAM. (2020). Desarrollo de una formulación para elaborar un pan tradicional tipo "cocol" con amaranto. Fecha de consulta: Abril 2021. Disponible en: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=184&Itemid=183](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=184&Itemid=183)
  - Valadez, M; Ortega, M; Carballo, A; Fucikovsky, L. (1990). Flavonoides de la testa del frijol como inhibidores de dos bacterias fitopatógenas. *Agrociencia, Serie Protección Vegetal.* Vol. 1 (2): 75-91.
  - Vilaplana, M. (2016). Alimentación y neuronas. Elsevier. Editorial Board. Vol. 30. Issue 6. pp 17-20. Fecha de consulta: octubre 2021. Disponible en: <https://www.elsevier.es/en-revista-farmacia-profesional-3-articulo-alimentacion-neuronas-X0213932416603690>



- Villalpando, S. (2009). Obesidad y enfermedades cardiovasculares. Gaceta informativa del Instituto Nacional de Salud Pública. No. 6. México.
- Villarroel, P; Gómez, C; Vera, C; Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. Rev. chil. nutr. vol.45 no.3
- Yara México. (2021). Nutrición vegetal: Trigo. Fecha de consulta: mayo 2021. Disponible en: <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/trigo/tipos-de-trigo/>





# ANEXOS





## Anexo 1

### Encuesta usada en la prueba sensorial 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 como la que menos le gusta y 3 la que más le gusta. No se permiten empates. En el espacio de abajo explique brevemente por que tomó esa decisión.

MUESTRAS

310

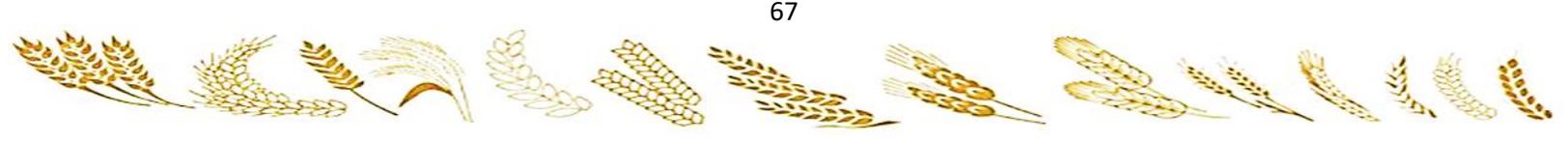
520

730

\_\_\_\_\_

¿Por qué?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_. GRACIAS :D





## Anexo 2

Tabla de resultados de la prueba sensorial de preferencia

310				520				730			
Juez	Pref.										
1	3	42	2	1	1	42	1	1	2	42	3
2	1	43	3	2	2	43	2	2	3	43	1
3	2	44	3	3	3	44	1	3	1	44	2
4	3	45	2	4	1	45	1	4	2	45	3
5	1	46	2	5	3	46	3	5	2	46	1
6	2	47	2	6	1	47	3	6	3	47	1
7	2	48	1	7	1	48	2	7	3	48	3
8	2	49	3	8	1	49	2	8	3	49	1
9	3	50	3	9	1	50	2	9	2	50	1
10	1	51	2	10	3	51	3	10	2	51	1
11	2	52	1	11	1	52	2	11	3	52	3
12	1	53	2	12	2	53	1	12	3	53	3
13	3	54	2	13	1	54	3	13	2	54	1
14	2	55	2	14	1	55	3	14	3	55	1
15	3	56	3	15	1	56	1	15	2	56	2
16	2	57	1	16	1	57	2	16	3	57	3
17	2	58	1	17	3	58	3	17	1	58	2
18	3	59	1	18	2	59	3	18	1	59	2
19	1	60	3	19	3	60	2	19	2	60	1
20	3	61	3	20	2	61	2	20	1	61	1
21	3	62	3	21	2	62	1	21	1	62	2
22	3	63	3	22	2	63	2	22	1	63	1
23	1	64	3	23	2	64	2	23	3	64	1
24	1	65	2	24	3	65	1	24	2	65	3
25	1	66	1	25	2	66	2	25	3	66	3
26	3	67	3	26	1	67	1	26	2	67	2
27	3	68	3	27	2	68	3	27	1	68	2
28	1	69	2	28	2	69	3	28	3	69	1
29	3	70	2	29	2	70	3	29	1	70	1
30	2	71	2	30	1	71	1	30	3	71	3





**Continuación de tabla de resultados de la prueba sensorial de preferencia**

310				520				730			
Juez	Pref.	Juez	Pref.	Juez	Pref.	Juez	Pref.	Juez	Pref.	Juez	Pref.
31	3	72	3	31	1	72	1	31	2	72	2
32	3	73	2	32	2	73	1	32	1	73	3
33	1	74	2	33	3	74	1	33	2	74	3
34	2	75	2	34	1	75	1	34	3	75	3
35	2	76	3	35	1	76	1	35	3	76	2
36	1	77	3	36	2	77	1	36	3	77	2
37	3	78	3	37	1	78	1	37	2	78	2
38	1	79	3	38	2	79	2	38	3	79	1
39	1	80	3	39	2	80	1	39	3	80	2
40	2	81	3	40	1	81	1	40	3	81	2
41	1	82	3	41	2	82	1	41	3	82	2
		83	3			83	2			83	1
<b>Total</b>	<b>182</b>			<b>Total</b>	<b>146</b>			<b>Total</b>	<b>172</b>		





### Anexo 3

## Encuesta empleada en la prueba sensorial de nivel de agrado

#### PRUEBA SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO

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

Sexo: Hombre    Mujer

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

NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba.

INSTRUCCIONES: Pruebe la muestra de pan y sobre la línea indique con una "X" su nivel de agrado hacia el producto. En el espacio de abajo explique brevemente su decisión.

#### Escala

\_\_\_\_\_

Disgusta mucho

Es indiferente

Gusta mucho

¿Por qué? \_\_\_\_\_





## Anexo 4

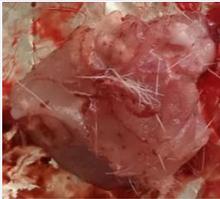
Tabla de resultados de la prueba sensorial de nivel de agrado

Juez	Puntaje	Juez	Puntaje	Juez	Puntaje
1	10	30	9.7	59	9.1
2	10	31	9.7	60	9.1
3	10	32	9.7	61	9.1
4	10	33	9.7	62	9
5	10	34	9.7	63	9
6	10	35	9.7	64	9
7	10	36	9.6	65	8.9
8	10	37	9.6	66	8.7
9	10	38	9.6	67	8.7
10	10	39	9.6	68	8.5
11	10	40	9.6	69	8.3
12	10	41	9.6	70	8.3
13	10	42	9.6	71	8.2
14	10	43	9.6	72	8.1
15	10	44	9.5	73	8
16	10	45	9.5	74	8
17	9.9	46	9.5	75	7.8
18	9.9	47	9.5	76	7.5
19	9.9	48	9.5	77	7.5
20	9.9	49	9.5	78	7.5
21	9.9	50	9.4	79	7.1
22	9.8	51	9.4	80	7.1
23	9.8	52	9.4	81	7.1
24	9.8	53	9.3	82	5.6
25	9.8	54	9.3	83	5
26	9.7	55	9.3	84	5
27	9.7	56	9.2	85	4.9
28	9.7	57	9.2	86	4.8
29	9.7	58	9.2	87	4.5
<b>Promedio</b>	<b>8.99</b>	<b>Aceptación</b>	<b>93.10%</b>		

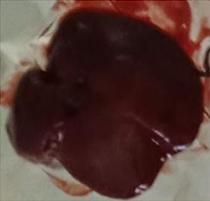


## Anexo 5

### Pesos y fotos de hígados y músculos de ratones alimentados con la dieta de cocol con amaranto

Rata	Hígado Cocol (g)	Hígado Cocol foto	Hígado caseína (g)	Hígado caseína foto	Músculo Cocol (g)	Músculo Cocol foto	Músculo caseína (g)	Músculo caseína foto	Observaciones
1	7.56		10.36		2.84		5.58		Se presentaron hígados aparentemente poco grasos y músculos medianos en comparación con los ratones de la dieta de caseína los cuales obtuvieron músculos más grandes e hígados aparentemente sin grasa.
2	7.73		11.14		2.36		5.01		
3	5.75		11.75		2.46		5.41		

**Continuación de pesos y fotos de hígados y músculos de ratones alimentados con la dieta de cocol con amaranto**

Rata	Hígado Cocol (g)	Hígado Cocol foto	Hígado caseína (g)	Hígado caseína foto	Músculo Cocol (g)	Músculo Cocol foto	Músculo caseína (g)	Músculo caseína foto
4	5.74		9.24		1.96		4.71	
5	6.09		9.69		2.39		4.65	
6	5.86		9.52		2.36		4.49	

**Continuación de pesos y fotos de hígados y músculos de ratones alimentados con la dieta deocol con amaranto**

