



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

« *ROLES DE CANELA ELABORADOS A PARTIR DE HARINAS DE  
TRIGO Y AMARANTO (Amarathus hypochondriacus L.)* »

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

FABIAN NICASIO JOSSELIN

Asesor: Dr. Enrique Martínez Manrique.

Coasesor: I.A. Verónica Jiménez Vera.

Cuautitlán Izcalli, Estado de México

2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos de la FES Cuautitlán, UNAM, como un proyecto del taller Multidisciplinario de Procesos Tecnológicos de Cereales con el apoyo del programa PIAPI-1606.

## AGRADECIMIENTOS

« Los sueños parecen al principio imposibles, luego improbables, y luego, cuando nos comprometemos, se vuelven inevitables »  
Mahatma Gandhi.

Primeramente a mí universidad la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO** ya que me siento orgullosa e igualmente bendecida al poder formar parte de esta gran escuela, ya que me ha formado profesional y personalmente así como a cada uno de los maestros que tuve durante este gran recorrido, ya que son ellos quienes siempre me dieron lo mejor de sí.

Al Sistema de Becas para Estudiantes Indígenas por darme la oportunidad de ver que dentro de la UNAM convergen muchísimas comunidades de pueblos originarios de México, sintiéndome orgullosa de mis raíces Otomíes así mismo gracias por el apoyo recibido en este último año de mis estudios.

A Dios por encontrar refugio en él en momentos difíciles.

A mis abuelitos Felipa y Juan Fabian (Q.E.P.D) quienes siempre me dieron su apoyo y comprensión siendo parte de este sueño que esta por lograrse y del cual sé estarían orgullosos.

Dedicada con gran cariño y admiración a mis padres Amador e Isaura quienes con su arduo trabajo, paciencia, dedicación, así como sabios consejos formaron mi carácter e hicieron que creciera sanamente y tomando siempre las mejores decisiones, decisiones que me han llevado a este punto de mi vida, donde su ayuda y fe depositada en mí me dieron fuerza y esperanza para vencer cada obstáculo presentado. **GRACIAS.**

**A mis hermanos Daisy, Carlos y Mariana a quienes quiero tanto y agradezco por siempre escucharme, compartir buenos y malos momentos aprendiendo día a día unos de otros y lograr así nuestros objetivos.**

**A mis tíos; Oscar, Rene, Claudio, Héctor, Verónica y Rodrigo así como a todos mis primos, ya que son ellos pieza fundamental a lo largo de mi vida, con quienes tengo la certeza de poder contar, GRACIAS por todo el apoyo y estímulo para lograr mis metas. Este es un logro compartido puesto que también les pertenece.**

**A mis amigos de infancia quienes siempre se preocupan por mí y el logro de cada meta trazada.**

**Para mis mejores amigas y amigos.**

**Laura, Jennifer, Mónica, Richi, Pily, Clara, Itzel, Anita, Narett, Fabi, Pamela y Aarón, con quienes eh compartido grandes momentos y experiencias inigualables haciendo de las horas de clase un lugar ameno y divertido. Sintiéndome bendecida por tenerlos en mi vida y feliz por que poco a poco vamos logrando lo que un día nos planteamos como objetivo. Por ello al igual que a mí les deseo éxito en su larga vida**

## CONTENIDO

RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
1. ANTECEDENTES .....	9
1.1 Antecedentes historia y generalidades del trigo .....	9
1.2 Composición química .....	11
1.3 Harina de trigo .....	13
1.4 Producción de trigo en México .....	14
1.5 La panificación en México.....	15
1.6 Clasificación del pan.....	16
1.7 Materias Primas utilizadas en la elaboración de pan y funcionalidad .....	19
1.8 Preparación del pan en general .....	22
1.9 Situación del sector de panificados en México.....	24
2. Amaranto .....	26
2.1 Historia y generalidades del amaranto .....	26
2.2 Composición química y valor nutrimental del amaranto.....	27
2.2.1 Composición nutrimental del amaranto.....	28
2.3 Producción de amaranto en México .....	32
2.4 Factores anti-nutrimientales.....	33
3. Desarrollo experimental .....	36
3.1. Objetivos.....	36
Objetivo general .....	36

Objetivo particular 1 .....	36
Objetivo particular 2.....	36
Objetivo particular 3.....	36
Objetivo particular 4.....	36
3.2 Cuadro metodológico .....	37
3.3 Metodología.....	38
3.3.1 Materiales y métodos.....	38
3.3.2 Preparación de la muestra.....	38
3.3.3 Análisis químico proximal .....	38
3.3.4 Formulación general para rol control .....	41
3.3.5 Metodología para la evaluación sensorial .....	44
3.3.6 Análisis químico proximal .....	45
3.3.7 Determinación de parámetros nutrimentales .....	45
3.3.8 Determinación de factores anti-nutrimentales.....	46
3.3.9 Evaluación sensorial.....	49
3.3.10 Análisis estadístico .....	49
4. Resultados y discusión .....	50
4.1 Análisis químico proximal de la materia prima.....	50
4.2 Elaboración de roles de canela a partir de las diferentes formulaciones .....	51
4.3 Prueba sensorial de preferencia .....	53
4.4 Análisis químico proximal de roles de canela elaborados con la formulación seleccionada.....	53
4.5 Pruebas de calidad nutricional .....	55
4.6 Análisis de compuestos anti-nutrimentales.....	56
4.7 Prueba sensorial de nivel de agrado.....	58



5. Conclusiones.....	59
6. Recomendaciones .....	59
Referencias .....	60
ANEXO 1 .....	68
Cuestionario de la prueba sensorial de preferencia .....	68
ANEXO 2 .....	69
Resultados de la prueba sensorial de preferencia .....	69
ANEXO 3 .....	71
Cuestionario de la prueba sensorial de nivel de agrado.....	71
ANEXO 4 .....	72
Resultados de la prueba sensorial de nivel de agrado .....	72



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición porcentual de las diferentes estructuras del grano de trigo .....	11
<b>Tabla 2.</b> Composición química del grano de trigo.....	11
<b>Tabla 3.</b> Cantidad de hidratos de carbono simples del germen de trigo .....	12
<b>Tabla 4.</b> Tipos de proteínas del grano de trigo .....	13
<b>Tabla 5.</b> Composición química de la harina de trigo .....	14
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de pan fermentado .....	17
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de pan leudado por agentes químicos.....	18
<b>Tabla 8 .</b> Pan dulce (Volumen).....	25
<b>Tabla 9.</b> Pan Dulce (Valor de ingresos).....	25
<b>Tabla 10.</b> Composición proximal del grano de amaranto.....	28
<b>Tabla 11.</b> Aminoácidos esenciales del amaranto.....	29
<b>Tabla 12 .</b> Formulación base 100% harina de trigo (HT) para la elaboración de un rol de canela.....	41
<b>Tabla 13.</b> Formulaciones con TRIGO- AMARANTO.....	43
<b>Tabla 14.</b> Formulaciones para elaborar roles de canela con harina sde trigo y amaranto agregando gluten.....	44
<b>Tabla 15.</b> Análisis químico proximal de las harinas de trigo y amaranto.....	50
<b>Tabla 16.</b> Propiedades sensoriales de los roles de canela a diferentes concentraciones.....	51
<b>Tabla 17.</b> Contenido de proteína en las formulaciones seleccionadas.....	52
<b>Tabla 18.</b> Evaluación sensorial de preferencia a los roles seleccionados.....	53
<b>Tabla 19.</b> Análisis químico proximal de Roles de canela, formulación seleccionada, rol control y rol comercial.....	54
<b>Tabla 20.</b> Pruebas de calidad nutrimental Roles de canela y Harina de amaranto .....	55
<b>Tabla 21.</b> Contenido de factores anti-nutrimientales en los roles de amaranto, rol control, rol comercial y en la harina de amaranto.....	57
<b>Tabla 22.</b> Prueba de nivel de agrado del Rol de amaranto seleccionado.....	58

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Trigo ( <i>Triticum ssp</i> ) .....	10
<b>FIGURA 2.</b> Estructura de un grano de trigo.....	10
<b>FIGURA 3.</b> Producción mundial de trigo .....	15
<b>FIGURA 4.</b> Consumo de pan en México y América Latina .....	24
<b>FIGURA 5.</b> Especies de amaranto .....	26
<b>FIGURA 6.</b> Corte longitudinal de un grano de amaranto .....	27
<b>FIGURA 7.</b> Estados productores de amaarnto .....	33
<b>FIGURA 8.</b> Estufa marca STABIL-THERM y desecador.....	38
<b>FIGURA 9.</b> Matraz Soxhlet.....	39
<b>FIGURA 10.</b> Destilador .....	39
<b>FIGURA 11.</b> Matraz de vacío para fibra cruda .....	40
<b>FIGURA 12.</b> Diagrama de procesos para la elaboración de un rol de canela .....	42
<b>FIGURA 13.</b> Cuestionario de la prueba sensorial de preferencia .....	45
<b>FIGURA 14.</b> Cuestionario de la prueba sensorial de nivel de agrado.....	49

## RESUMEN

Los cereales como el trigo constituyen la materia prima de diversos alimentos tales como el pan, pastas, galletas, pan dulce, entre otros. Entre ellos, uno que gusta mucho y se consume de manera ordinaria es el rol de canela. Sin embargo, dichos productos se consideran de baja calidad nutrimental. Una alternativa para mejorar estos productos de trigo sería elaborarlos junto con otros granos de mejor calidad nutrimental como es el amaranto. El amaranto es un cultivo con alto contenido de proteínas y balance adecuado de aminoácidos esenciales (lisina, metionina y cisteína) y otros compuestos como fibra y ácidos grasos esenciales y escualeno. Por ello en este trabajo se planteó desarrollar una formulación para elaborar roles de canela a partir de harina de trigo y amaranto para mejorar su calidad nutrimental. Para realizar esta investigación se propusieron seis distintas formulaciones con harina de trigo y amaranto, con las cuales se elaboraron los roles de canela, seleccionando la mejor formulación en base a pruebas sensoriales. A la formulación seleccionada se le realizaron pruebas químicas, pruebas de calidad nutrimental así como factores anti-nutrimientales y una prueba sensorial de nivel de agrado. Los resultados mostraron que se pudo sustituir hasta un 60 % de harina de amaranto en lugar de la de trigo obteniendo un rol con buenas características físicas y sensoriales. Sin embargo la mejor formulación fue la que contenía 50% harina de amaranto - 40% harina de trigo - 10% gluten. El rol elaborado con esta formulación presentó una mejor calidad nutrimental que un rol comercial y un rol de trigo, ya que el rol con amaranto posee mayor cantidad de proteínas, lípidos y cenizas así como bajo contenido de carbohidratos y los factores anti-nutrimientales medidos tuvieron una disminución después de que el rol fue sometido a un tratamiento térmico. Además de una buena digestibilidad y altos valores de triptófano. Por último se observó que el rol tuvo una aceptación del 61 % de jueces no entrenados con una calificación de 8 en una escala de 1 a 10.

## INTRODUCCIÓN

El pan fue introducido a México por los españoles, enseñando a los indígenas la preparación del mismo y actualmente es toda una industria con una gran variedad de productos (Campo Cruz *et al.*, 2010). El trigo es la base para la elaboración de productos de panificación que se consumen en grandes volúmenes, entre ellos se encuentran las galletas, tortillas, cereales, donas y roles de canela. El rollo o rol de canela (también llamado pan de canela o espiral de canela) es un pan dulce creado en la década de los 20's. Los roles de canela son una masa dulce, que se consume durante el desayuno, pero actualmente se hace a cualquier hora del día. Dentro de la variedad de productos de panificación, el rol es un pan muy consumido en México y en gran parte del mundo (Advance Food de México, 2012) Dado que todos estos productos son elaborados con harina de trigo, tienen bajo aporte nutrimental principalmente en cuanto a calidad de proteínas pues es deficiente en lisina y treonina, además prácticamente no tiene fibra y minerales, pero sí un alto aporte calórico (Gil, 2010; NOTAS, 2009). Por lo que sería importante complementarla con otro grano de mejor calidad como el amaranto. El grano de amaranto posee aproximadamente un 16% de proteína, un porcentaje un poco más alto que el de los cereales tradicionales como: el maíz 9.33 %; el arroz 8.77 % y el trigo 14.84 %. Sin embargo, su importancia no radica en la cantidad sino en la calidad de la misma con un excelente balance de aminoácidos al poseer un contenido importante de lisina (16.6 %), aminoácido esencial en la alimentación humana, que comúnmente es limitante en otros cereales. Es de alto valor en fibra y sales minerales (Mateo *et al.*, 2005). Según la FAO y la OMS, sobre un valor proteico ideal de 100, el amaranto posee 75 %, la soya 68, el trigo 60 y el maíz 44 % (Amazings /NCYT, 2016). También es conocido que esta semilla presenta factores anti-nutrimientales en cantidades bajas y pueden desaparecer durante el proceso de cocción logrando una digestibilidad de hasta un 93 %. (Elizalde *et al.*, 2009). Por ello, se propone la elaboración de un rol de canela a partir de la mezcla de harina de trigo con harina de amaranto como una alternativa en el desarrollo de un producto tradicional pero mejorando la calidad nutrimental del mismo. Este producto se pretende lograr sustituyendo la mayor cantidad de harina de trigo por harina de amaranto logrando un producto con buenas características físicas y sensoriales, al cual se le realizará un análisis químico proximal, pruebas de calidad nutrimental como digestibilidad *in vitro* y triptófano así como un análisis de factores anti-nutrimientales provenientes del amaranto como inhibidores de tripsina, ácido fítico y taninos, y una prueba sensorial de nivel de agrado.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Antecedentes historia y generalidades del trigo

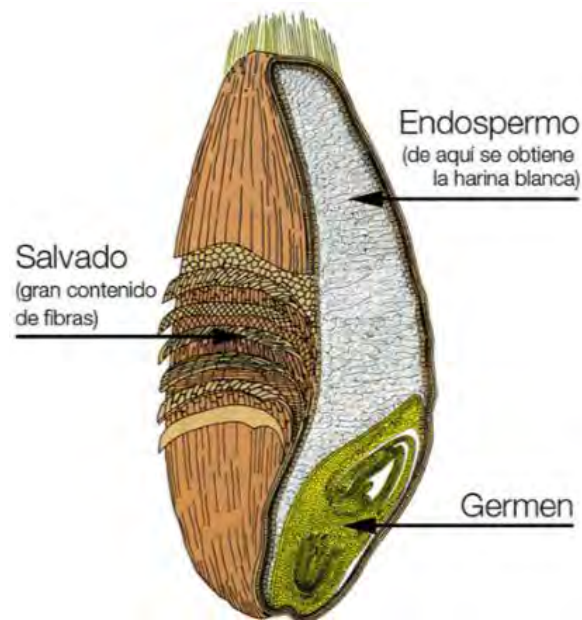
En la antigüedad, la diosa griega Deméter, que significa señora era considerada la diosa de la alimentación, principalmente del pan y la agricultura; en la mitología romana, su equivalente es la diosa Ceres, y de ella deriva el nombre cereal, que es como se denomina al grupo de granos al que pertenece el trigo (Serna-Saldívar, 2009). El origen del trigo se remonta a la antigua Mesopotamia; ya que las evidencias más antiguas provienen de Siria, Iraq, Turquía y Jordania y existen hallazgos de restos del grano de trigo que datan de 6700 a.C. Fue introducido en México por los españoles en el año 1520 y luego llevado a sus demás colonias (Juárez *et al.*, 2014). El trigo se siembra, por primera vez, en un solar que perteneció a Hernán Cortés y que fue regalado a Juan Garrido, un esclavo liberado y de los primeros panaderos de la época de la colonia. En 1524 se inició la producción y transformación del trigo criollo en pan, al principio los hornos y amasijos eran familiares, pero poco a poco se fueron convirtiendo en empresas productoras para el consumo de la población en general.

El trigo (Figura 1) es el nombre que se le da a aquella planta perteneciente a la familia de las gramíneas y que dispone de espigas terminales que están conformadas por tres o más carreras de granos, a partir de los cuales, una vez triturados, se obtiene la harina. Por lo que su altura es variable, va desde treinta centímetros hasta un metro y medio de largo. El tallo es recto y cilíndrico, de hojas largas y finas que terminan en forma de lanza, por lo que se les llama lanceoladas. El grano de trigo es ovalado, parecido al arroz, con las puntas redondeadas. De una de ellas sobresale el germen y en la otra hay un mechón de pelos finos que se conoce como pincel, por su forma. Los granos pueden ser blandos o duros (Trigo-tierno, 2016).



**FIGURA 1. Trigo (*Triticum ssp*)**  
Fuente: Trigo-tierno, 2016

El trigo se compone principalmente de tres partes (Figura 2): Pericarpio 12 a 14%, endospermo 81 a 83 % y germen 2 a 3 %. La harina se obtiene principalmente del endospermo, el cual, está compuesto de almidón y proteínas.



**FIGURA 2. Estructura de un grano de trigo**

Fuente: foodwardturtle.com, 2015

El **Pericarpio**: Compuesto por el epicarpio, el mesocarpio y el endocarpio, corresponde al 4 % del grano. En esta parte se encuentran células intermedias de pared fina, células alargadas longitudinalmente y células tubulares. Esta capa protectora del grano constituye el salvado.



Epispermo: o tegumento que contiene el pigmento que coloreará el grano ya sea blanco, rojo o amarillo. Estos pigmentos pueden ser carotenoides o flavonoides. Ésta cubierta o testa cubren la banda hialina.

El endospermo: rodeado de aleurona, se le considera como la parte mayoritaria del grano, que servirá de reserva al germen en caso de germinación. Este albumen se constituye, principalmente por gránulos de almidón, cautivos en una red de materia proteica.

Germen: Situado en la base del grano que está separado del resto, por células que forman una especie de collar y se denomina escutelo dentro del cual se encuentra la vitamina B1 del grano de trigo. El germen del trigo es muy rico en vitamina E. En la Tabla 1 podemos ver la composición química de cada parte del grano.

**Tabla 1. Composición porcentual de las diferentes estructuras del grano de trigo**

	<b>Proteínas</b> %	<b>Materia grasa</b> %	<b>Almidón</b> %	<b>Fibra</b> %	<b>Cenizas</b> %
<b>Pericarpio</b>	20	30	0	89	67
<b>Endospermo</b>	72	50	100	8	23
<b>Germen</b>	8	20	0	3	10

Fuente: Procesamiento de granos y semillas, 2016.

## 1.2 Composición química

La composición química del grano del trigo (Tabla 2) varía de acuerdo a la variedad, región, condiciones de cultivo y año de cosecha. También la calidad y cantidad de nutrientes dependen de la especies de los trigos que influirán en sus propiedades nutritivas y funcionales (Serna-Saldivar, 2009). En general el grano maduro está compuesto por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, lípidos, minerales y agua, junto con trazas de vitaminas, enzimas y otras sustancias (Juárez *et al.*, 2014).

**Tabla 2. Composición química del grano de trigo**

<b>Humedad</b> %	<b>Proteínas</b> %	<b>Materia grasa</b> %	<b>Carbohidratos</b>	<b>Fibra</b> %	<b>Cenizas</b> %
<b>14</b>	<b>10-14</b>	<b>2.5</b>	<b>65</b>	<b>2.5</b>	<b>1.5</b>

Fuente: Procesamiento de granos y semillas, 2016

Los hidratos de carbono totales (Tabla 3) constituyen del 77-78 % de la materia seca total y son los componentes más importantes, de los cuales aproximadamente el 64 % es almidón y el resto, carbohidratos solubles e insolubles que constituyen la fibra dietética. La fracción insoluble está compuesta principalmente por celulosa y hemicelulosa, encontrándose en envolturas del grano aunque esta no es digerible para el ser humano.

**Tabla 3. Cantidad de hidratos de carbono simples del germen de trigo**

<b>Nutriente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Nutriente</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Azúcar</b>	15.20 g	Lactosa	0 g
<b>Fructuosa</b>	0.50g	Maltosa	0g
<b>Galactosa</b>	0g	Oligosacáridos	0 g
<b>Glucosa</b>	0.70g	Sacarosa	14 g

Fuente: Carbohidratos de la harina Alimentos, 2016

En cuanto a los lípidos estos se encuentran en cantidades menores de 1 %. Su composición consiste en cantidades iguales de lípidos polares y no polares, siendo los triglicéridos, los que se encuentran en mayor cantidad dentro de los no polares, mientras la fosfatidil colina, lisofosfatidil colina y digalactosil diglicéridos se destacan dentro de los polares.

Las proteínas que acompañan al almidón, tienen una buena tasa de digestibilidad; sin embargo dado su bajo porcentaje (8 al 16 %) y su ausencia de aminoácidos esenciales como la lisina, triptófano y treonina, se considera al trigo un cereal de baja calidad biológica para las primeras etapas de vida del humano. La cantidad de proteínas en el grano dependen de las condiciones ambientales y de su genotipo, el mayor porcentaje esta en el germen y la capa de aleurona.

Las proteínas pueden dividirse en dos grupos: las proteínas del gluten o de almacenamiento y las proteínas que no forman gluten, englobando a la mayoría de las enzimas. Las albúminas y globulinas se encuentran en el germen, el salvado y la aleurona, y en menor proporción en el endospermo, conteniendo un buen balance de aminoácidos. Las prolaminas y gluteninas se encuentran en el endospermo, distinguiéndose por sus altas concentraciones de glutamina y prolamina (Tabla 4).

**Tabla 4. Tipos de proteínas del grano de trigo**

	<b>Albuminas +globulinas %</b>	<b>Gliadinas %</b>	<b>Gluteninas %</b>
<b>Trigo suave</b>	16	45	35
<b>Trigo cristalino</b>	15	49	32

Fuente: Procesamiento de granos y semillas, 2016

Las proteínas del gluten representan entre un 80–85 % del total de las proteínas del trigo, representan la mayor parte de las proteínas de almacenamiento. Pertenecen a la clase de prolaminas (Shewry y Halford, 2002; Shewry *et al.*, 1995). Las proteínas del gluten se encuentran en el endospermo del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Las proteínas de gluten son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Pueden distinguirse dos grupos funcionalmente distintos de proteínas de gluten: gliadinas que son monoméricas y gluteninas que son poliméricas

### **1.3 Harina de trigo**

Las proteínas de la harina de trigo, específicamente las proteínas del gluten le confieren a la masa una funcionalidad única que la diferencia del resto de las harinas de otros cereales, la masa de harina de trigo se comporta desde el punto de vista reológico como un fluido viscoelástico, esta propiedad hace que la masa sea elástica y extensible.

La harina es el polvo que se obtiene de la molienda del grano de trigo maduro, entero o quebrado, limpio, sano y seco, en el que se elimina gran parte de la cascarilla (salvado) y el germen. El resto se tritura hasta obtener un grano de finura adecuada. En la composición química de la harina de trigo (Tabla 5), se puede observar que aunque la harina de trigo es un producto altamente utilizado en diversos productos tal como productos de panificación principalmente. Las proteínas del trigo son deficientes en lisina y en Treonína. En general, son de mala calidad nutricional, ya que gran parte de estas son eliminadas en la molienda. (Temas de ciencia y tecnología, 2009).

**Tabla 5. Composición química de la harina de trigo**

<b>Componente</b>	<b>Harina de trigo %</b>
<b>Proteína</b>	12-13 %
<b>Grasa</b>	2.2 %
<b>Almidón</b>	67 %
<b>Cenizas</b>	0.5 %
<b>Fibra</b>	11 %
<b>Carbohidratos</b>	2-3 %

Fuente: Gil, 2010

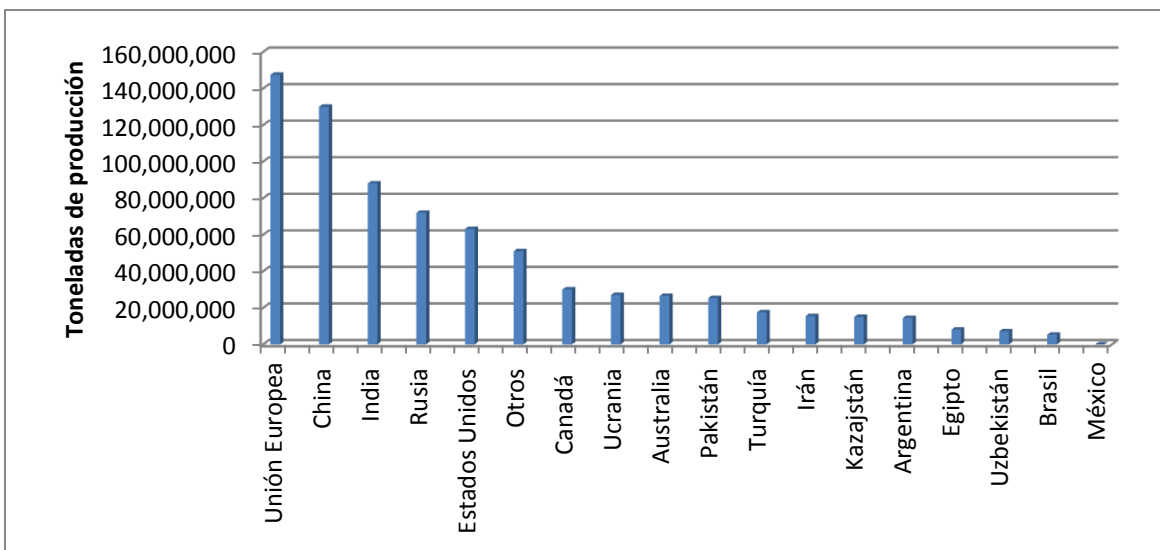
#### **1.4 Producción de trigo en México**

Los cereales constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para el hombre debido a su aporte energético y de nutrientes, entre los cereales, de mayor producción mundial se encuentran, el maíz, arroz y el trigo, que abastecen el 80% de la producción total de alimentos, este último es el cereal más consumido por el hombre occidental y es cultivado en 115 países.

En México los principales estados productores de trigo son Sonora, Guanajuato y Baja California, que se encuentran del centro hacia el norte del país.

Sin embargo, la producción nacional no es suficiente para cubrir nuestras necesidades por lo que tenemos que importar de otros países. Por su cercanía y por los costos de transportación, se importa de Estados Unidos quien, además, es el mayor exportador a nivel mundial.

La superficie sembrada ha tenido una tendencia creciente en la última década, salvo un año en el que hubo una fuerte caída, la cual se presentó en los años 2003-2004 (Figura 3). La producción, por ende, es proporcional ya que depende de la productividad por hectárea algo que varía poco (SIAP, 2009).



**FIGURA 3. Producción mundial de trigo**

Fuente: SIAP, 2016

El panorama actual respecto a la situación del costo del trigo indica que el precio del trigo se ha mantenido desde septiembre de 2015 y solo ha habido una tasa de cambio ligero en noviembre de 2015 y febrero de 2016 lo cual afecta al sector panadero, ya que estos establecen precios del producto según sea su valor de compra (CANAINPA, 2016).

### 1.5 La panificación en México

Aunque se dice que la panificación es un proceso fácil, tiene un secreto que fue descubierto por los egipcios: la introducción de la levadura y el proceso de fermentación. Sin esto, el pan no sería esponjoso como se conoce, sino plano y duro (SIAP, 2016).

Como el trigo es el único grano con el contenido suficiente de gluten para hacer una barra de pan, éste llegó a ser rápidamente favorecido sobre otros granos cultivados en aquella época, tal como avena, el mijo, el arroz, y la cebada.

Por ello se entiende como Pan dulce, al producto que puede ser elaborado con harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites comestibles, levaduras, al que se le pueden o no incorporar aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus presentaciones, sal y leche; amasado, fermentado, moldeado y cocido al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles (NOM-247-SSA1-2008).

Se denomina pan al producto perecedero que resulta de la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por microorganismos propios de la actividad panaria

(Reglamento Técnico Sanitario, 2002). El pan proporciona carbohidratos en forma de almidón, así como proteínas y algunas vitaminas.

En México, la historia del pan está ligada a la conquista española. Las panaderías de la época colonial estaban reglamentadas rigurosamente, tanto en lo que se refiere al peso como en lo relativo a los precios. Por lo que este producto solo se podía encontrar en determinadas tiendas o comercios tales como las pulperías, mientras que las mujeres indígenas eran las encargadas de vender el pan en plazas y mercados.

A fines del siglo XVIII, llegan a México los primeros maestros europeos de panadería y pastelería (franceses e italianos), realizando las primeras negociaciones semejantes a las europeas, talleres donde el jefe de la familia es el maestro y sus hijos los pupilos. Un ejemplo de ello fue el maestro Manuel Mazza, de origen italiano, el cual se estableció en lo que hoy es Oaxaca, y propicio este tipo de negocio (CANAINPA, 2016).

Ya para 1880 había 78 panaderías y pastelerías en la ciudad de México y para los siguientes años se tenían más panaderías, algunas incluso ya eran de renombre, por la calidad del pan. En los primeros años del siglo XX, la mecanización de la industria panificadora se inició con el uso de revolvedoras para pan blanco. Hasta 1922 la panadería en México se caracterizó por la preponderancia del pan blanco en los anaqueles de los expendios. De 1923 a 1950 aproximadamente, empezaron a ofrecer bizcochería (CANAINPA, 2016).

## **1.6 Clasificación del pan**

La industria panificadora se clasifica según la NOM-F-521-1992, en diversos tipos de pan. Donde la definición del producto deberá aportar información sobre la identidad del mismo (características que tendrá cada uno y que lo identificarán y diferenciarán de entre otros productos: pan blanco y pan dulce; y similares: diferentes tipos de pan blanco), asimismo de los ingredientes que lo integran y del proceso empleado (INAES, 2016)

### ***Pan fermentado***

Es el producto comestible que resulta de hornear una masa previamente fermentada, la cual contiene por lo menos harina de trigo, agua, levadura y sal. En la Tabla 6 se muestra la clasificación de los diferentes tipos de pan fermentados.

**Tabla 6. Clasificación de pan fermentado**

TIPO DE PAN	CARACTERÍSTICAS
<p align="center"><b>PAN DULCE HORNEADO</b></p> <p>Pan fermentado al que se le añade azúcar u otros endulzantes</p>	<p><b>De miga esponjada en forma hojaldrada</b></p> <p>Pan con una miga que se descompone en capas pequeñas denominadas hojaldras .puede o no tener barniz, perteneciendo a este grupo el cuerno y las hojaldras</p> <hr/> <p><b>De miga esponjada homogénea resultado del horneo</b></p> <p>Pan con una miga pareja (celdas del mismo tamaño) como en el caso del cocol, la concha el moño, rebanadas, rollos, etc., Algunas veces se combinan con frutas por lo general se decoran con una tapa dulce, azúcar, coco, etc., Su cubierta es semidura.</p>
<p align="center"><b>PAN DULCE FRITO</b></p> <p>Pan fermentado al que se le añade azúcar y que ya moldeado se fríe en aceite caliente</p>	<p><b>De miga esponjada homogénea resultado de fritura</b></p> <p>La miga resultante se da al esponjar en el aceite y es homogénea y suave. Es este grupo pertenecen las donas, bolas Berlín y trenzas. La dureza de su corteza dependen del tiempo de exposición y la temperatura del aceite, se decoran por lo general con azúcar espolvoreada, cobertura de chocolate o en caso de las bolas Berlín se rellenan con crema pastelera o crema batida.</p>
<p align="center"><b>PAN SALADO HORNEADO</b></p> <p>Pan fermentado en el cual se le añade sal o azúcar</p>	<p><b>De miga esponjada y corteza dura resultado de horneo</b></p> <p>Pan fermentado en el cual la cantidad de sal define su sabor, en este grupo entran el bolillo, la telera, la baguette, bollos o medias noches y que pueden decorarse con semillas o azúcar.</p> <hr/> <p><b>De miga compacta y corteza semi-dura resultado de horneo</b></p> <p>Pan fermentado al cual se añade sal y azúcar en cantidad muy reducida dando un sabor poco dulce, se elaboran diversas formas de la misma masa, se le conoce como “pan español”. Puede llevar alguna semilla espolvoreada.</p>

Fuente:Quaglia, 1986

### ***Pan leudado por agentes químicos***

Los agentes leudantes (denominados también agentes gasificantes) son aquellas sustancias capaces de producir, o incorporar gases, en productos que van a ser horneados con el objeto de aumentar su volumen, producir cierta forma y textura en su masa final. Se define al resultado de hornear una mezcla de harina de trigo con algunos otros ingredientes, como un líquido (agua o leche) además de otros como sal, azúcar, grasa, huevo, etc. los cuales mediante agentes leudantes obtiene características propias de una estructura, forma, volumen, color, sabor, suavidad, etc. En la Tabla 7 se ejemplifican los diferentes tipos de pan obtenidos de una fermentación por agentes leudantes químicos tomando en cuenta solo el pan dulce.

**Tabla 7. Clasificación de pan leudado por agentes químicos**

<b>TIPO DE PAN</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
Esponjado en forma de hojaldre	Pan adicionado con azúcar que tiene miga en forma de pequeñas hojaldras como en el caso del bísquet, el cuadro o la barra elaborados de la misma pasta.
Esponjado suave homogénea	Pan azucarado de miga esponjado suave, a este grupo pertenecen todo tipo de panques y las magdalenas. Su masa puede mezclarse con frutillas, chispas de chocolate, granillo, nueces, almendras, etc., y puede decorarse con grageas y glaseados etc.
Compacto semi-duro homogénea	Pan azucarado de miga compacta semi-dura y homogénea, de corteza semi-dura. Entran en este grupo la trenza de canela, las rosas planas, piedras, ladrillos, y cochinitos.
Compacto duro homogénea	Pan azucarado de miga compacta dura homogénea de corteza dura. Entran aquí todas las galletas de sabores como vainilla, nuez, coco, anís, etc.,
Compacta desmoronable homogénea	Se incluye pan azucarado de miga desmontable homogénea de corteza dura. Entran aquí todos los polvorones decorados con azúcar espolvoreada y entran también una especie de panques que se rellenan de queso crema, crema pastelera o de chantilly.
Compacto laminado	Pan azucarado de miga en forma de láminas (conocido como feite) como las banderillas, trenzas, campechanas, orejas y empanada. Son decoradas con azúcar caramelizada, espolvoreada como azúcar glas, coco o mermelada.
De miga mixta	Pan azucarado de miga en dos o más formas. Un ejemplo es la combinación miga laminada con miga esponjada suave.

Fuente: Quaglia, 1986



Dentro de esta clasificación encontramos a los roles de canela, los cuales son un pan dulce de miga mixta, esponjosa y suave los cuales al comerse no presentan alguna resistencia, ni desmoronamiento más bien es esponjoso y fácil de morder.

### **1.7 Materias Primas utilizadas en la elaboración de pan y funcionalidad**

Los ingredientes y la funcionalidad de cada uno son de suma importancia ya que son estos la base para la elaboración de todo tipo de pan incluidos los roles de canela.

#### **Harina**

Componente estructural de la masa, este ingrediente es responsable de las características viscoelásticas de la misma y de su capacidad de retener el gas, así como de formar la estructura. Debido a la presencia de amilosa y amilopectina las cuales son capaces de la retención y elasticidad de la masa.

Las propiedades de la harina se atribuyen a dos de sus componentes principales: proteínas y almidón. La función de las proteínas del trigo se hace presente cuando al mezclarlas con el agua se obtiene una masa elástica, esta característica se debe a la presencia de las proteínas *glutenina* y *gliadina* que conforman el gluten. El gluten es la estructura que le da la consistencia a la masa, retiene los gases producidos por la fermentación y le da rigidez al producto después de horneado.

El almidón también brinda estructura mediante la gelatinización y cristalización parcial de sus componentes (amilasa y amilopectina), sin embargo, su función más importante es la retención de humedad en el pan (Calaveras, 2000).

#### **Levadura**

La levadura utilizada en panificación son mayormente en polvo la cual se encarga de fermentar los azúcares presentes en la harina (glucosa, fructuosa, sacarosa y maltosa) convirtiéndolos en dióxido de carbono, alcohol etílico y ácidos orgánicos. La producción de estos compuestos es importante en el acondicionamiento y leudado de la masa, además imparten al pan recién horneado un aroma y sabor agradable. Las fermentaciones llevadas a cabo por los sistemas enzimáticos de las bacterias lácticas y acéticas tienen un carácter secundario. Las lácticas utilizan como sustrato la glucosa para producir ácido láctico y las

acéticas transforman en ácido acético el alcohol producido por la levadura. El ácido láctico es un ácido relativamente fuerte y se produce en cantidades apreciables, por lo que su efecto inmediato al pasar a la fase líquida de la masa es aumentar la acidez de ésta. El ácido acético, al ser más débil, tiene un efecto considerablemente menor sobre aquélla (García Olmedo, 1964).

La cantidad de levadura utilizada, está en función del tipo de harina, formulación de la masa. Método de panificación y del pan a elaborar. Ya que es necesario agregar nutrimentos esenciales para asegurar un buen funcionamiento (Hoseney, 1994).

### **Leche**

Después del agua, la leche es el líquido más importante en la panificación. El agua es indispensable para el desarrollo del gluten; así como la leche que contiene 88 a 91% de agua, cumple esa misma función. Además, la leche contribuye a mejorar la textura, el sabor, el color de la corteza, las cualidades de conservación y el valor alimenticio de los productos de panadería.

### **Sal**

Su principal función es potencializar el sabor a la masa de pan. El elevar la dosis en muchos casos es contraproducente ya que inhibe el trabajo de las células de levadura y por tanto frena la fermentación.

Así mismo la falta de sal nos provocaría:

- Panes insípidos
- Fermentaciones muy rápidas con panes de excesivo volumen y corteza muy fina, pero a su vez, durante la fermentación, hay una tendencia a debilitarse y son piezas que hay que trabajar con cuidado.
- Masas pegajosas y muy blandas durante el amasado, lo que no ayuda a dar firmeza al pan.

La cantidad de sal influye también en la duración y estado de conservación del pan, debido a su capacidad higroscópica, (capacidad de absorber agua), ya que la sal tiende a captar la

humedad del aire introduciéndola en el producto, si esta se encuentra en cantidades excesivas ejerce un efecto negativo sobre el tiempo de conservación (Hoseney, 1994).

### **Azúcares**

Los azúcares que están presentes en la masa del pan y de otros productos horneados son de varios tipos:

- Azúcares presentes en la harina, los cuales solo el 1 % son capaces de fermentar.
- Maltosa, azúcar derivado de la acción del alfa-amilasa sobre el almidón presente en la harina, este azúcar es susceptible a fermentar y por tanto la cantidad presente derivada de la actividad enzimática tiene mucha importancia.
- Lactosa, azúcar no susceptible a fermentar que procede de la leche, por tanto su presencia es limitada a productos donde se le ha añadido este aditivo.
- Azúcares añadidos. Los azúcares fermentables son directamente la glucosa y la fructuosa, ya que la sacarosa se transforma en los dos azúcares que la constituyen mediante hidrólisis o por la acción de la invertasa de la levadura y la maltosa se convierte en dos moléculas de glucosa o dextrosa por la acción de la maltasa.

Esta propiedad de la glucosa, fructuosa y maltosa tienen una importancia relevante ya que la levadura debe tener a su disposición estos azúcares para producir dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, que sirve para elevar la masa. Además dichos azúcares reductores tienen efectos sobre las características sensoriales del pan, esto sobre el color de la corteza y su aroma, por la reacción de Maillard (Quaglia, 1986).

El azúcar al igual que la sal, asegura también una mejor conservación del producto ya que permite una mejor retención de la humedad, manteniendo más tiempo su blandura inicial y retrasa el proceso de endurecimiento (Badui, 1990).

### **Grasas**

Las grasas son uno de los ingredientes que con más frecuencia se emplean en la industria panificadora.

Para el caso del pan, cuando la harina y el agua se mezclan, se obtiene una masa con características plásticas; las partículas de almidón finamente subdivididas son encapsuladas por una matriz proteica, el gluten. Si a la masa se añaden grasas emulsionantes se forma una sutil capa entre las partículas del almidón y la red del gluten, después el efecto aglomerante de los emulsionantes, transforman la superficie hidrófila de las proteínas en una superficie más lipófila: esta capacidad de los lípidos de aglomerar y por consiguiente de ligar las diferentes mallas del gluten, aumenta simultáneamente la posibilidad de estiramiento, la adición de emulsionantes confiere a la miga una estructura fina y homogénea ya que el gluten, al tener la posibilidad de estirarse sin romperse, retiene las burbujas de gas. Es decir, actúa como lubricante del gluten, haciéndolo más suave y elástico, aumentando con ello su capacidad de retención del gas. Al formar la película entre el gluten y el almidón, se impide la migración de humedad, favoreciendo que el producto sea más suave y fresco confiriendo una mayor vida de anaquel; favorece la formación de una corteza brillante de mejor aspecto, mejorará el sabor y el valor nutricional del pan. No obstante su utilización excesiva puede originar pérdida de volumen y dar una textura y gusto graso lo que promueve el enranciamiento del pan (Calaveras, 2000).

## **1.8 Preparación del pan en general**

Para llevar a cabo el proceso de elaboración del pan se necesita realizar las siguientes etapas:

**Pesado.-** Se pesan todos los ingredientes, para tener una formulación base.

**Mezclado.-** Se toma una parte de la leche y del azúcar de la fórmula y se mezcla con la levadura dejando reposar para lograr que se active la levadura. Y esta mezcla se añadirá posteriormente a la mezcla de (harina, sal, azúcar, mantequilla y huevo), para lograr la formación de la masa.

**Amasado.-** El objetivo principal del proceso de amasado es de transformar las propiedades físicoquímico de la masa para permitir la siguiente fase que es la fermentación dándole elasticidad (INAES, 2016).

**Primera fermentación:** Después del amasado va una primera fermentación la cual logrará, la formación del gas que aumenta el volumen de la masa y disminuye su densidad. (CANAINPA, 2016)

**Boleado y Formado:** La siguiente etapa es el formado de la pieza. Esta operación consiste en dar forma simétrica o de rol a los trozos de masa. El formado es una de las etapas claves en la elaboración del pan, y muchos de los defectos originados en el pan pueden ser causados por una mala manipulación de la masa durante el formado (INAES, 2016).

**Segunda Fermentación.-** Es una etapa clave y decisoria en la elaboración del pan, la masa suele adquirir mayor tamaño debido a que la levadura libera dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante su etapa de metabolismo, ocasionando que la masa se vaya 'inflando' paulatinamente a medida que avanza el tiempo. Durante la ejecución de esta fase del proceso hay que poner especial cuidado en el control de la temperatura, debido a que se produce la máxima actividad metabólica de las levaduras.

**Horneado.-** Es la etapa en la cual la masa se transforma en pan. Esta transformación se dará según la temperatura del horno y el tamaño de las piezas. Al comienzo de la cocción y una vez dado el vapor, la masa es suficientemente elástica y puede aumentar de volumen en el horno. El almidón se hincha ligeramente, los gases se dilatan y los alveolos interiores aumentan de volumen. El gluten se solidifica y comienza a mantenerse la estructura en la pieza, más adelante el pan comenzará a tomar color y a perder humedad. La temperatura será también factor importante para la calidad del pan, que dependiendo del tamaño de la pieza, del contenido en agua de la masa, del tipo de horno, así como del clima, deberá estar relacionado con el tiempo de permanencia del pan en el horno.

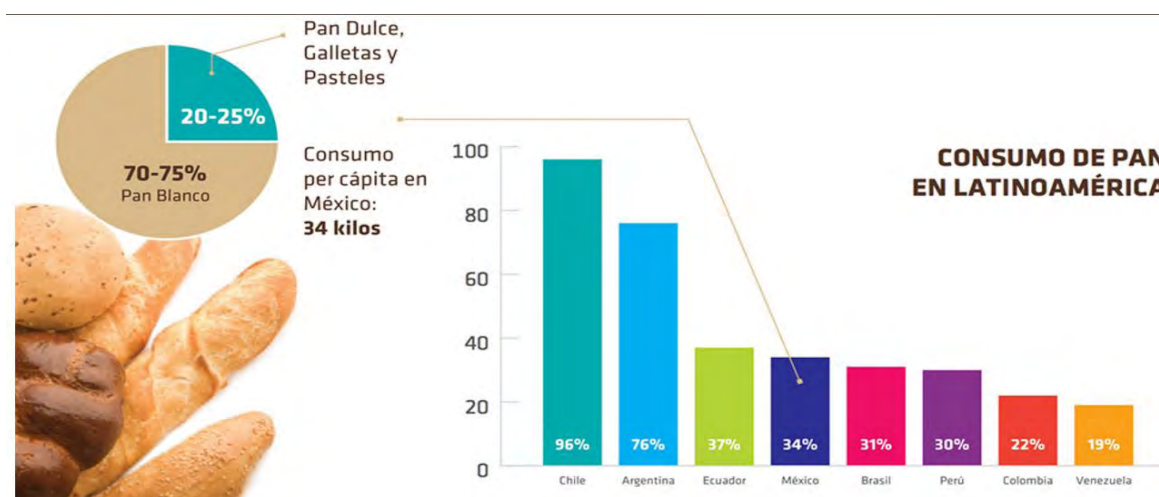
**Enfriamiento.-** Se enfría el producto a temperatura ambiente de tal manera que sea apto para el consumo.

**Envasado.-** Es un método que consiste en proteger al producto de agentes externos el cual ayudará a la manipulación del mismo sin que exista ningún tipo de contaminación o deterioro. Para ello se utilizará una bolsa de polietileno de baja densidad debido a que son flexibles y facilitan la visibilidad del producto.

**Almacenaje.-** El almacenamiento del pan será por un corto periodo ya que si bien se trata de un producto perecedero al que se le suele añadir sustancias químicas para que alargue su tiempo de vida útil estas no garantizan su enranciamiento, ni su pérdida de humedad provocando un pan duro.

### 1.9 Situación del sector de panificados en México

Posterior a la llegada de los franceses llegaron los estadounidenses quienes trajeron consigo los rollos de canela y las donas. Como se puede ver en la Figura 4, el consumo de pan en Latinoamérica es alto.



**FIGURA 4. Consumo de pan en México y América Latina**

Fuente: MEXIPAN, 2015

El pan dulce representa hasta un 25 % de consumo en México y dentro de este grupo se encuentran los roles de canela; los cuales son de fácil consumo ya que pueden consumirse entre comidas y llegar a ser un pan que satisface el hambre o bien un simple antojo, además, algunos aspectos que influyen en su ingesta son la innovación, la promoción e incluso el clima.

En materia de precios, los panes y pasteles muestran un comportamiento atípico, pues su encarecimiento casi nunca se refleja en una reducción del volumen de ventas y ello se debe a que la población mexicana tiene la costumbre de consumir pan y pasteles para todo tipo de celebración (Tabla 8 y Tabla 9).

**Tabla 8 . Pan dulce (Volumen)**

<b>Periodo</b>	<b>Dato</b>
<b>2016/01</b>	16,083
<b>2015/12</b>	15,772
<b>2015/11</b>	14,902
<b>2015/10</b>	15,814

Fuente: INEGI, 2016

**Tabla 9. Pan Dulce (Valor de ingresos)**

<b>Periodo</b>	<b>Dato</b>
<b>2016/01</b>	1,066,568
<b>2015/12</b>	1,039,156
<b>2015/11</b>	978,810
<b>2015/10</b>	1,046,361

Fuente: INEGI, 2016

A futuro se prevé que la oferta de panes y pasteles siga en aumento, en especial por parte de las grandes firmas que buscan captar más clientes mediante nuevos productos y modernos empaques. El problema es que éstos productos, solo buscan satisfacer su hambre o antojo temporal, pero no proporcionar beneficios a la salud del consumidor pero sí provocan obesidad (MEXIPAN, 2015).

También es cierto que este tipo de productos puede entrar en una dieta correcta, siempre y cuando se evite una alta frecuencia de consumo. Ya que el problema de obesidad se produce principalmente por el desacelerado consumo de productos ricos en calorías.

La industria panificadora es dinámica y se consolida más cada día, introduciendo al mercado productos de acuerdo al cambio de hábitos alimenticios de la población, por lo que un rol complementado con amaranto podría ser una buena opción de consumo, pues actualmente las personas cuidan más su salud y ponen más interés en lo que comen. Además, hay que recordar que productos como el pan y la tortilla son elementos básicos de consumo y deben de aprovecharse para promover una buena alimentación y nutrición adecuada para la población en México.

## 2. Amaranto

### 2.1 Historia y generalidades del amaranto

El amaranto (*Amaranthus sp.*) es un pseudo-cereal de cultivo anual de origen Andino, su nombre proviene del griego y significa “eterno, perdurable”, era llamado como huautli por los indígenas y como bleo por los conquistadores (Amaranto historia y promesa, 1998). El amaranto es una planta de color rojo-morado que produce semillas de color negro, posee una amplia adaptación, incluso en ambientes desfavorables. Desde tiempos muy antiguos como es la época pre-hispánica la planta de amaranto ha logrado ser domesticado, cultivado y utilizado como parte de los cultivos básicos de América, desde hace más de 4000 años (Peralta, 2009). Fue utilizado en el valle de México por los Aztecas, en Guatemala por los Mayas, en Sudamérica por los Incas y cultivado junto al maíz, frijol y calabaza (Carpio, 2009) Con la llegada de los españoles y durante la conquista, el amaranto casi tuvo que ser eliminado de la dieta indígena por razones políticas y religiosas, no desapareció totalmente ya que la producción de amaranto se mantuvo en lugares apartados durante la conquista española (Peralta, 2009).

La familia *Amarathacea* comprende más de 60 géneros y 800 especies de plantas. El género *Amaranthus* tiene tres especies, el *A. hypochondriacus*, el *A. cruentus* cultivados en Mesoamérica (México y Guatemala) y el *A. caudatus* cultivado en Perú toda ellas producen panojas llenas de una pequeña semilla de aproximadamente 1-1.5 mm de color amarillo (Figura 5).



**FIGURA 5 . Especies de amaranto**

Fuente: El semanario. Amaranto el cereal que nunca muere, 2015.

Su redescubrimiento como cultivo representa un significativo hecho debido a la facilidad de adaptación, tolerancia a la sequía a altas temperaturas; así como que el grano posee una

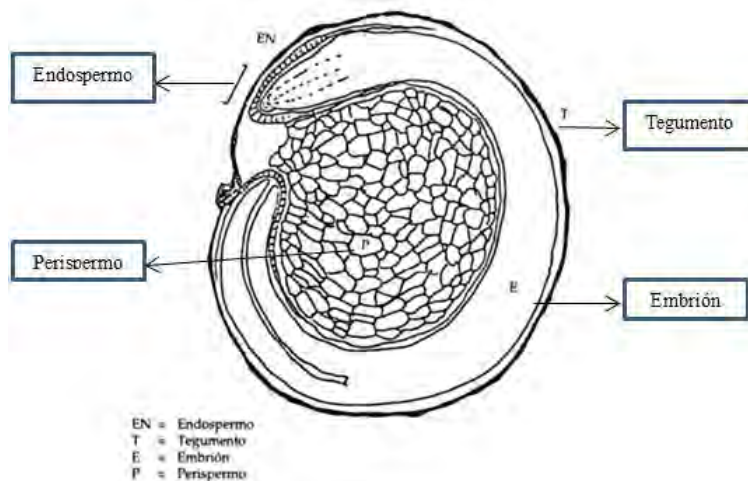


composición química y valor nutritivo muy atractivo, comparables y superiores en base similar a otros granos ya sean cereales o leguminosas.

## 2.2 Composición química y valor nutrimental del amaranto

El interés sobre este alimento además de la composición química y valor nutritivo es la estructura física del grano, la cual muestra un corte longitudinal donde se observan los principales componentes físicos del grano de amaranto (Figura 6). Con un tegumento rodeando a la semilla y un endospermo poco desarrollado. El germen parece relativamente grande respecto al grano. El centro del grano presenta el perispermo cuyas células contienen gránulos pequeños de almidón. El tamaño de estos gránulos varía de 1.66 a 4  $\mu\text{m}$  y este variará según la especie.

Estudios de molienda han indicado que la fracción de tegumento más germen representa entre un 20.8 y 26.7 % del peso del grano, esto es similar a la molienda del trigo (Boucher y Muchnik, 1995).



**FIGURA 6. Corte longitudinal de un grano de amaranto**

Fuente: Boucher y Muchnik, 1995

La composición química de tres especies del grano de amaranto muestra que el contenido de proteína cruda en todas las especies se encuentra entre 13.2 y 17.6 % (Tabla 10). Por lo que es evidente que existe una variabilidad visible entre especies.

**Tabla 10. Composición proximal del grano de amaranto**

<b>Nutriente</b>	<b><i>A. caudatus</i>*</b>	<b><i>A. cruentus</i>**</b>	<b><i>A. hypochondriacus</i>**</b>
<b>Humedad</b>	b.s	6.2 - 6.7	11.1
<b>Proteína cruda</b>	14.0 - 16.0	13.2 - 17.6	13.9 - 17.3
<b>Lípidos</b>	9.4 - 10.2	6.3 - 8.1	4.8 - 7.7
<b>Fibra cruda</b>	---	3.4 - 5.3	2.6
<b>Fibra dietética</b>	7.6 - 16.4	---	---
<b>Cenizas</b>	2.4 - 3.8	2.8 - 3.6	3.3 - 4.1
<b>Almidón</b>	51.5 - 65.8	---	---

\*\*Citado por Teutonico y Knorr, 1985

Fuente: Boucher y Muchnik, 1995

El contenido total de lípidos es el segundo nutriente de interés en el grano. Ya que la variabilidad en todas las especies se encuentra entre un 4.8 % y 10.2 % lo cual se considera relativamente alto. Sin embargo, un contenido alto de lípidos es considerado de interés por la alta cantidad de energía que el grano de amaranto podría proporcionar en comparación con el resto de cereales y leguminosas.

### **2.2.1 Composición nutrimental del amaranto**

El amaranto puede ser una de las plantas más nutritivas del mundo. Las semillas de amaranto tostado proveen una fuente de proteínas superior, que puede satisfacer gran parte de la ración recomendada de proteínas para niños, y también pueden proveer aproximadamente el 70 % de energía de la dieta diaria recomendada.

El balance de aminoácidos en el amaranto, está cercano al requerido para la nutrición humana. Su aminoácido más limitante es la leucina, que permite que la proteína de la variedad *Amaranto caudatus* se absorba y utilice hasta el 70 %, cifra que asciende hasta el 79 % según el tipo de semilla. El cómputo aminoacídico es de 86 % en *Amaranto hypochondriacus* y de 77 % en *amaranto cruentus*. Se puede apreciar el alto valor biológico de su proteína comparándola con los cálculos químicos de la proteína del trigo (73 %) y soya (74 %), mientras que las proteínas de origen animal no tienen aminoácidos limitantes. Lo destacable de la proteína del amaranto es su alto contenido en lisina, en comparación con otros cereales, lo que permite una excelente complementación aminoacídica con las proteínas de maíz, arroz y trigo (Boucher y Muchnik, 1995).

Si bien el amaranto como se ha visto hasta ahora tiene muchísimas propiedades benéficas para nosotros, estas son otras de sus cualidades y por lo que sería un beneficio al implementarlo como un cereal de consumo diario o bien con más frecuencia en nuestra dieta. El amaranto se destaca por un contenido importante de lisina, aminoácido esencial en la alimentación humana,

**Proteína:** El amaranto posee entre 14 y 18 g de proteína valor superior al de todos los cereales. Su importancia no solo radica en la cantidad sino en la calidad de la misma con un excelente balance de aminoácidos (esenciales). Que comúnmente es más limitante en otros cereales. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), sobre un valor proteico ideal de 100 %, el amaranto posee 75 %, la leche vacuna 72 %, la soja 68 %, el trigo 60 %. Cuando se realizan mezclas de harina de amaranto con otros granos, la combinación resulta excelente, llegando a índices cercanos del 100, porque el aminoácido que es deficiente en uno abunda en el otro. Además, la digestibilidad de su grano es del 93 %.

Así mismo la FAO y la OMS han establecido estándares cuantitativos para evaluar el puntaje químico de un alimento en base a la cantidad y calidad de los aminoácidos presentes. Basándose en estos patrones el amaranto obtiene una elevada calificación por lo que es considerado como un alimento de alto valor para la alimentación del ser humano  
Tabla 11 (Características Nutricionales del Amaranto, 2006).

**Tabla 11. Aminoácidos esenciales del amaranto**

<b>Aminoácido esencial</b>	<b><i>A, hypochondiacrus</i></b>	<b>Patron FAO/OMS</b>
Isoleucina	250	250
Leucina*	388	440
Lisina	401	340
Metionina*	131	220
Fenilalanina	328	380
Treonina*	268	250
Triptofano	84	60
Valina	304	310
* = Reportados como limitantes		

Fuente: Características Nutricionales del Amaranto, 2006

## **Grasa.**

Ingerir ácidos grasos poli-insaturados (esenciales, entre ellos los ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6), para el ser humano es de interés vital porque proveen de energía, bajan el colesterol, inhiben la producción de coágulos de sangre y disminuyen el riesgo de enfermedades cardiovasculares –estudios recientes llegan a suponer que los ácidos grasos  $\omega$ -3 sean capaces de proteger el organismo ante trastornos cardíacos. En 100 g del amaranto, alrededor del 70 % de la grasa son ácidos grasos insaturados siendo una combinación muy apropiada para la alimentación humana.

## **Fibra.**

De este componente nutricional indispensable para el metabolismo y la digestión regular no existen muchos datos sobre el contenido de fibra dietética del grano de amaranto. Sin embargo, valores que van de 7.6 a 16.4 % para el *A.caudatus* han sido reportados, lo cual constituye una diferencia ampliamente significativa. Otros valores reportados por la literatura informan un 15.2 % para el grano de amaranto de especie son determinadas y de 10.2 para una harina de este mismo grano (Bressani 1989; Bressani R., 1994)

## **Minerales.**

Hierro (que asume un papel vital en el crecimiento de los seres humanos porque es necesario no solo para lograr una adecuada oxigenación tisular sino también para el metabolismo de la mayor parte de las células): Con un valor de alrededor de 9 mg, el amaranto contiene el doble o hasta el triple de la cantidad de hierro que tiene el trigo (unos 4.5 mg) y el arroz (alrededor de 3 mg) (el maíz tiene muy poco, solo alrededor de uno por ciento). Calcio (es un mineral primordial para la estabilidad de huesos y dientes, la comunicación y el movimiento de los nervios y músculos, entre muchas otras funciones). En la semilla de amaranto encontramos unos 200 mg (arroz: unos 25; trigo: entre 40 y 50 mg). Magnesio (como segundo mineral más frecuente dentro de las células humanas, no sólo responsable junto con el calcio para la construcción del aparato óseo y dental, sino también para la síntesis de todo tipo de proteínas en el cuerpo, al igual que para el metabolismo energético, la comunicación de los nervios y músculos, en especial en el corazón). El amaranto en 100 g de semillas posee más de 300 mg de magnesio, alrededor

del doble de lo que contienen el trigo (alrededor de 140 mg) y el arroz (unos 150 mg). Fósforo (mineral esencial para el cuerpo humano porque sus compuestos y enlaces forman parte imprescindible en el ADN y ARN, la sustancia hereditaria y en el metabolismo energético): Vemos en el amaranto entre 400 y 500 mg (arroz: alrededor de 120 mg; trigo harina blanca: alrededor de 75 mg / harina integral: unos 340 mg) (Características Nutricionales de Amaranto, 2006).

### **Vitaminas.**

La tiamina (B1) juega un papel importante en el metabolismo de carbohidratos principalmente para producir energía, además de participar en el metabolismo de grasas, proteínas y ácidos nucleicos, ADN y ARN; es esencial para el crecimiento y desarrollo normal y ayuda a mantener el funcionamiento propio del corazón, sistema nervioso y digestivo amaranto: alrededor de 0.8 mg (arroz: 0.4 mg; trigo: 0.4 a 0.5 mg). B9/B11 (= el ácido fólico; entre otras funciones necesario para la creación y división celular en general, y especialmente para la creación del ADN, esto es de suma importancia para los fetos durante el embarazo). Encontramos en el amaranto como 50 µg por 100 g (arroz: menos de 20 µg; trigo harina blanca: alrededor de 6 µg / harina integral: unos 30 µg).

### **Carbohidratos**

Los carbohidratos del amaranto por su estructura tan fina, son muy fáciles de digerir, por lo que estos proveedores principales de energía para el cuerpo humano, al consumir éste productos de amaranto, rápido se ponen a nuestra disposición (criterio indispensable con el que debe cumplir un alimento para que pueda brindar beneficios a los deportistas, especialmente los de alto rendimiento, en su entrenamiento). El componente principal en la semilla del amaranto es el almidón, representa entre 50 y 60 % de su peso seco. El diámetro del gránulo de almidón oscila entre 1 y 3 micrones, mientras que los de maíz son hasta 10 veces más grandes y los de la papa pueden ser hasta 100 veces mayores. Estas reducidas dimensiones del gránulo de almidón del amaranto facilitan su digestión, que resulta de 2.4 a 5 veces más rápida que el almidón de maíz (Características Nutricionales de Amaranto, 2006).

### 2.3 Producción de amaranto en México

El cultivo de amaranto constituye una actividad productiva alternativa viable y rentable. Sus cualidades y propiedades nutritivas, agronómicas, industriales y económicas garantizan el éxito de la cadena nutritiva debido a sus muchos beneficios.

El rendimiento económico del amaranto en zonas de temporal y de riego es mayor que las siembras de otras especies tradicionales, por ser un cultivo de ciclo corto, resistente a las sequías y por su alto valor nutricional. Así por ejemplo, en los últimos años, en términos de rentabilidad, el precio del mercado del grano de amaranto es superior al de otros granos (maíz \$ 1500/ton; frijol \$ 3000/ton; trigo \$900/ton; y amaranto \$3.450/ton) con un rendimiento por hectárea de 1.00 a 2.00 ton, sin riego (Guía del emprendedor, 2016).

En México las zonas de producción y cultivo del amaranto no han cambiado, ya que se sigue llevando a cabo en el mismo lugar que en la época precolombina.

El cultivo de amaranto tradicionalmente se ha localizado en cinco entidades del centro del país. En el año 2013, Oaxaca y San Luis Potosi se incorporaron al cultivo del cereal con 83 hectáreas sembradas en conjunto.

En nuestro país, el estado de Tlaxcala es el mayor productor de amaranto, ya que la entidad pasó de 350 hectáreas a 3 mil el año pasado, lo que ha permitido a Tlaxcala ocupar el primer lugar nacional en la producción de este cereal a nivel nacional (Armas, **2015**). Seguido del estado de Puebla con 57.7 % ya que en la producción participan 17 de sus municipios, de los cuales cuatro están en los primeros 10 con los volúmenes más significativos del país. Le sigue Morelos, el Distrito Federal, el estado de México y Guanajuato con el 18 %, 9 %, 7.3 % y 2 % respectivamente (Figura 7).



**FIGURA 7. Estados productores de amaranto**  
Fuente: travelbyméxico, 2016

Por lo que además del atractivo por la utilidad que genera el amaranto, el cultivo del mismo ha promovido un desarrollo sostenible en las comunidades rurales generando inversión y creación de empleos en el campo, utilizando la tecnología artesanal disponible. Son sus propiedades y cualidades nutricionales, agronómicas e industriales, lo que lo convierte en “el mejor alimento de origen vegetal para el consumo humano”, designación otorgada por la Academia Nacional de Ciencias de los EE.UU. en 1979. Esta categorización se debe a la alta calidad de sus proteínas, por su perfil de aminoácidos esenciales que permiten la elaboración de una gran gama de productos terminados de buena aceptación, y por su excelente relación de costo-beneficio.

#### **2.4 Factores anti-nutrimientales**

Una posible desventaja del amaranto podría ser que, se sabe que sus semillas contienen algunos factores anti-nutrimientales; término que se utiliza para calificar a aquellos compuestos que afectan el valor nutricional de algunos alimentos, especialmente semillas, ya que dificultan o inhiben la asimilación de nutrientes que provienen de alimentos generalmente de origen vegetal (proteínas y minerales); desde el punto de vista bioquímico estos factores son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos

fisiológicos poco deseables como la flatulencia; distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, aglutinación de glóbulos rojos, disminución en la asimilación de nutrientes, entre otros; los factores anti-nutricionales son sustancias naturales no fibrosas, generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves; un ejemplo de estos son:

**Taninos:** Son compuestos polifenólicos de un amplio peso molecular que habitualmente se dividen en hidrolizables y condensados. Estos son capaces de unirse a enzimas, proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, saponinas, y formar complejos con el hierro del alimento, dificultando la digestión de los nutrientes. Aunque hay diferencias químicas entre ellos, todos son compuestos fenólicos y pueden precipitar la proteína. La capacidad de ligar proteínas por los taninos, se ha considerado como un elemento importante para predecir sus efectos en sistemas biológicos (Elizalde y Porrilla, 2009).

**Inhibidores de tripsina:** Estos factores se pueden definir como compuestos termo lábiles de naturaleza proteica, que alteran la digestión de las proteínas, inhibiendo la acción de las enzimas digestivas que se enfocan hacia la hidrólisis de las proteínas de la dieta; Sin embargo, se ha demostrado, que la efectividad de los tratamientos por calor dependen del pH, la temperatura, el tiempo de calentamiento, las condiciones de humedad, el tamaño de partícula y el tipo de semillas; por tanto, es recomendable aplicar métodos combinados para minimizar el daño en la calidad nutricional del alimento y promover una mayor inactivación. No hay evidencia de que los inhibidores de proteasa tengan algún efecto adverso al crecimiento y la salud humana. De hecho, un número creciente de datos sugiere que estos compuestos pueden mejorar la salud humana a través de sus efectos preventivos del cáncer (Elizalde y Porrilla, 2009)

**Ácido fítico:** El ácido fítico puede unirse a los minerales en el intestino antes de que estos sean absorbidos e influyan en las enzimas digestivas. Los fitatos también reducen la digestibilidad de los almidones, las proteínas y las grasas. La mayoría del fitato (del 37 al 66 %) se degrada en el estómago y en el intestino delgado.

Normalmente, nuestro cuerpo regula bastante bien los niveles de fitato, ajustando la absorción en el intestino y en la excreción hasta que los niveles del cuerpo entran en



equilibrio. El estado de la vitamina D en el cuerpo parece influir en la cantidad de fitato que se retiene. Cuanta más vitamina D, más fitato se retiene, cuanta menos vitamina D, menos fitato.

Estos factores son considerados para el desarrollo de este proyecto ya que pueden llegar a afectar la calidad nutrimental del rol de amaranto, llegando a ser un alimento difícil de consumir por su poca asimilación en el tracto digestivo (Meilán, 2015).

## **3. Desarrollo experimental**

### **3.1. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Desarrollar una formulación para elaborar roles de canela a partir de harina de trigo y amaranto para mejorar su calidad nutrimental

#### **Objetivo particular 1**

Cuantificar la composición química de las harinas de trigo y amaranto a partir de un Análisis Químico Proximal para saber si pueden complementarse

#### **Objetivo particular 2**

Evaluar diferentes formulaciones de elaboración de roles de canela con harinas de trigo y amaranto mediante una prueba sensorial de preferencia para seleccionar la más aceptada.

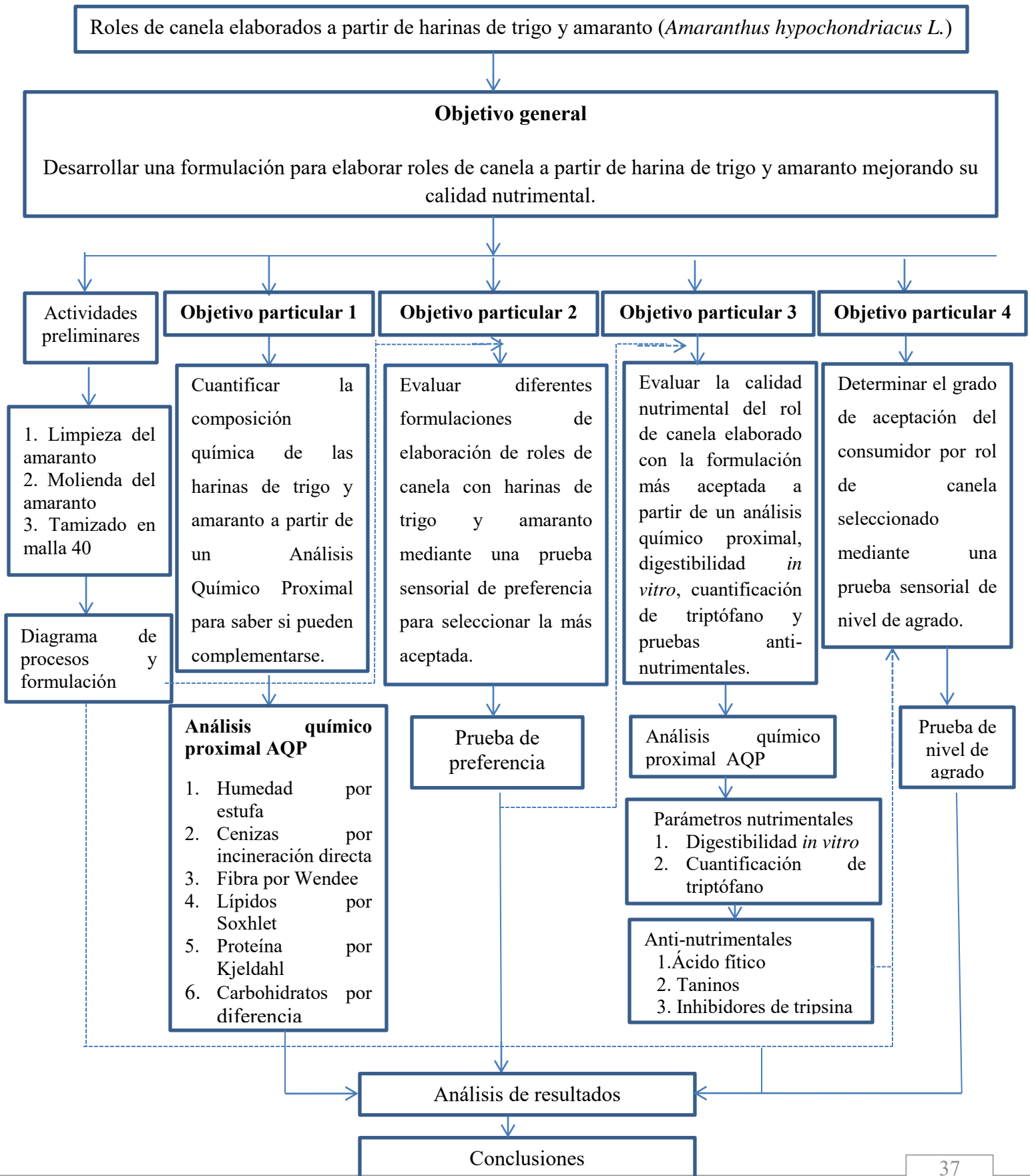
#### **Objetivo particular 3.**

Evaluar la calidad nutrimental del rol de canela elaborado con la formulación más aceptada a partir de un análisis químico proximal, digestibilidad in vitro, cuantificación de triptófano y pruebas anti- nutrimentales.

#### **Objetivo particular 4**

Determinar el grado de aceptación del consumidor por rol de canela seleccionado mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.

### 3.2 Cuadro metodológico



### 3.3 Metodología

#### 3.3.1 Materiales y métodos

Para este proyecto se utilizó amaranto de la especie *Amaranthus hypochondriacus* cosecha 2014 variedad Tulyehualco, harina de trigo marca Tres estrellas<sup>®</sup>, Huevo San Juan<sup>®</sup>, mantequilla, azúcar y canela Aurrera<sup>®</sup>.

#### 3.3.2 Preparación de la muestra

Se realizó la limpieza del grano de amaranto, quitándole cualquier tipo de materia extraña mediante cribas como la malla #40 y #16 de la serie Tyler, USA para que pudiera ser molido en un molino de cuchillas marca Thomas-Wiley, a continuación fue sometida a un tamizado con la malla No. 40 serie Tyler, con la finalidad de obtener una harina de amaranto integral la cual fue almacenada a temperatura de 6 °C hasta su uso. Esta harina fue empleada para el análisis y elaboración del producto..

Una vez que se tuvo la harina de amaranto se procedió a analizar su composición química por medio de un Análisis Químico Proximal al igual que la harina de trigo, para comparar su composición química. Las pruebas que se realizaron se explican a continuación:

#### 3.3.3 Análisis químico proximal

##### Determinación de humedad (H) (925.10, AOAC 2012) Método o técnica: Estufa

Se determinó el contenido de humedad por el método de secado por estufa el cual se basa en la eliminación de agua por efecto del calor aplicado a la muestra (Figura 8). Se calculó el contenido de humedad por la pérdida de peso en la muestra debido a la evaporación del agua por calentamiento a 130 °C, hasta obtener un peso constante. El resultado obtenido se expresa como porcentaje de humedad de acuerdo a la ecuación 1.

$$\%H = \left( \frac{W_1 - W_2}{W_3} \right) * 100 \dots \dots \dots Ec. 1$$

Dónde:

$W_1$  =Peso de la caja más muestra húmeda (g)

$W_2$  =Peso de la caja más muestra seca (g)

$W_3$  = Peso de la muestra (g)

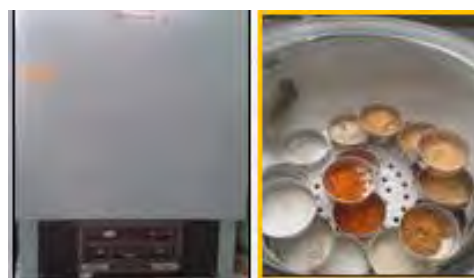


FIGURA 8. Estufa marca STABIL-THERM y desecador

### Determinación de grasa (L) (920.39, AOAC, 2002) Método o técnica: Soxhlet

El contenido de grasa bruta de un producto se define convencionalmente como la parte del mismo extraíble por éter etílico en condiciones determinadas (Figura 9). Incluye, además la grasa, otras muchas sustancias solubles en éter etílico, como son: ceras, pigmentos, vitaminas. Se obtiene a partir de la ecuación 2.

$$\text{Grasa bruta \% (materia seca)} = \frac{(W_3 - W_2)}{W_1} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Dónde:

$W_1$  = Peso de la muestra (g)

$W_2$  = Peso del matraz (g)

$W_3$  = Peso del matraz con grasa (g)



FIGURA 9. Matraz Soxhlet

### Determinación de proteínas (P) (960.52, AOAC, 2002) Método o técnica: Micro Kjeldahl

Es el contenido de proteína bruta de un producto es el resultado de multiplicar el contenido en nitrógeno, determinado por el procedimiento Kjeldahl por un factor de transformación de nitrógeno en proteína (Figura 10). como se indica en la ecuación 3.

$$\% \text{ Nitrógeno total} = \left[ \frac{(V_2 - V_1)(N)(0.014)}{W} \right] \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 3}$$

$$\% \text{ PROTEÍNA} = (F)(\% \text{ NITRÓGENO TOTAL})$$

Dónde:

W = Peso de la muestra (g)

$V_1$  = Volumen (ml) de la solución de HCL para el blanco

$V_2$  = Volumen (ml) de la solución de HCL requerido para la muestra

N = Normalidad del HCL

F = Factor de 5.83 trigo y 5.87 para amaranto



FIGURA 10. Destilador

**Determinación de cenizas(C) (923.03, AOAC, 2012) Método o técnica: Incineración directa**

El contenido en cenizas de un producto es el residuo resultante después de su incineración en condiciones determinadas. Este método es aplicable a los granos, harinas y otros productos derivados de los cereales (AOAC 923.03). Indica el % de minerales presentes en las muestras y se obtiene por la ecuación 4. (AOAC OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS, 2012)

$$\text{Cenizas \% de (materia natural)} = \frac{(W_3 - W_2)}{W_1} * 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 4}$$

Dónde:

W<sub>1</sub>= Peso de la muestra (g)

W<sub>2</sub>= Peso del crisol más muestra húmeda (g)

W<sub>3</sub>= Peso del crisol más las cenizas (g)

**Determinación de fibra (F) (989.03, AOAC, 2005) Método o técnica: Fibra cruda**

Este se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales después de la calcinación (Figura 11). Tal como se aprecia en la ecuación 5.

$$\frac{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)}{W_5} * 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 5}$$

Dónde:

W<sub>1</sub> = Peso del papel filtro a 130° (g)

W<sub>2</sub> = Peso del papel filtro con residuos secos a 130° (g)

W<sub>3</sub> = Peso del crisol vacío (g)

W<sub>4</sub> = Peso del crisol después de la incineración (g)

W<sub>5</sub>= Peso de la muestra previamente desengrasada (g)



**FIGURA 11. Matraz de vacío para fibra cruda**

**Determinación de carbohidratos Método o técnica: Por diferencia**

Por diferencia a partir de la ecuación 6:

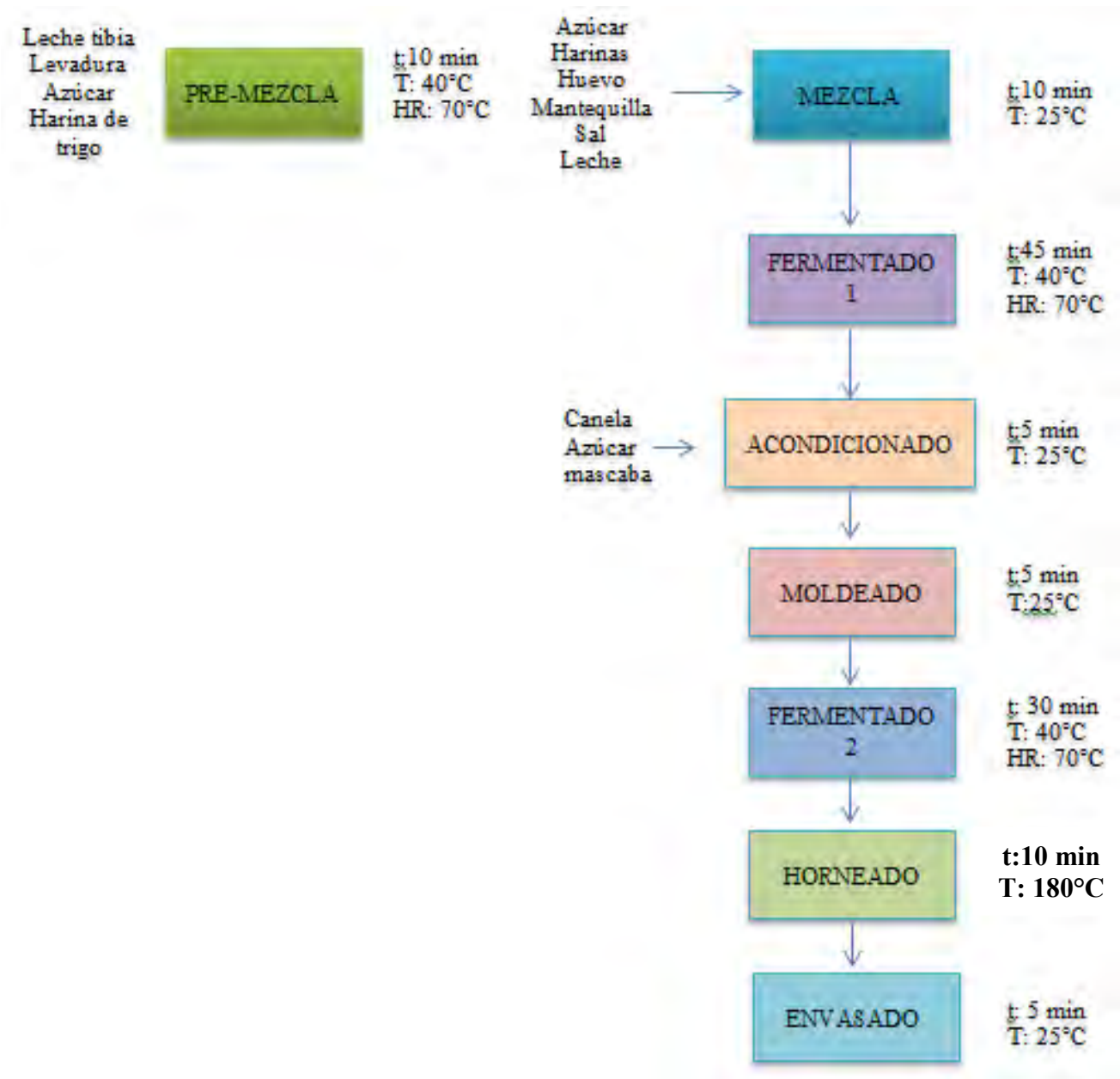
$$\% C = 100 - (P + G + H + C + L + F) \dots \dots \dots \text{Ec.6}$$

### 3.3.4 Formulación general para rol control

Los roles de canela se elaboraron con una formulación base 100 % de harina de trigo (HT), la cual se muestra en la Tabla 12, siguiendo el diagrama de proceso que se muestra en la Figura 12.

**Tabla 12 . Formulación base 100% harina de trigo (HT) para la elaboración de un rol de canela**

<b>Ingredientes</b>	<b>Cantidad (%)</b>
<b>Harina de trigo</b>	<b>50.89</b>
<b>Leche</b>	<b>20.35</b>
<b>Mantequilla</b>	<b>12.21</b>
<b>Huevo</b>	<b>7.6</b>
<b>Azúcar refinada</b>	<b>5.08</b>
<b>Levadura</b>	<b>1.01</b>
<b>Sal</b>	<b>0.76</b>
<b>Azúcar morena</b>	<b>1.52</b>
<b>Canela</b>	<b>0.5</b>



**FIGURA 12. Diagrama de procesos para la elaboración de un rol de canela**

### Descripción de proceso

**Pre-mezcla:** En esta etapa se inicia la elaboración de los roles donde, la leche se debe entibiar 8s en el microondas, se agrega la mezcla de azúcar, levadura y harina una cucharadita, solo para enriquecer a la levadura; esta pre-mezcla se deja fermentar por 10 min. Para lograr la activación de la levadura.



**Mezclado:** Se mezcla el resto de harina con la sal, azúcar, mantequilla y huevo, para lograr la formación de la masa. Posteriormente se añade la levadura ya fermentada y la leche, mezclar durante 10 min. Después se amasa con las manos por 3 minutos.

**Primera fermentación:** Después del amasado va una primera fermentación de 45 min.

**Acondicionado y moldeado:** Una vez terminada la primera etapa de fermentación se bolea la masa para formar más espacios y poder atrapar más CO<sub>2</sub>. Posteriormente se agrega azúcar morena y canela para el acondicionado. La siguiente etapa es el formado del rol, lo cual se logra al enrollar la masa a lo largo y cortarla en trozos de 4 cm de ancho. Estos rollos se colocaran en un refractario previamente engrasado.

**Segunda fermentación:** Esta etapa dura 30 min. Durante la ejecución de esta fase del proceso hay que poner especial cuidado en el control de la temperatura, debido a que se produce la máxima actividad metabólica de las levaduras.

**Horneado:** La cocción se produce a 180°C durante 10 min.

**Enfriamiento:** Se enfría el producto a temperatura ambiente.

Más adelante se propusieron distintas formulaciones en las que se variaron las concentraciones de harinas de trigo y amaranto manteniendo todos los demás ingredientes constantes (Tabla 12). El porcentaje de amaranto se inició con 20 % y fue aumentando en porcentajes de 10 %, con base en trabajos previos realizados en el grupo de trabajo, en los que se observó que a partir de estos valores se pueden detectar cambios en la composición química de los productos (Cortes, 2011; Díaz 2012; Escobedo, 2013). El porcentaje de amaranto se aumentó hasta llegar al máximo con el que pudiera elaborarse el rol de canela, que en este caso fue de 70 % (Tabla 13).

**Tabla 13. Formulaciones con TRIGO- AMARANTO**

<b>Formulación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>% HT</b>	<b>80</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>30</b>
<b>% HA</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>

Se realizaron pruebas organolépticas y físicas de las seis formulaciones para elegir tres con las mejores características.

Una vez seleccionadas las tres mejores formulaciones y observando que presentaban poca capacidad para esponjar, como consecuencia de que el amaranto es un alimento sin gluten. Se decidió compensar esto agregando 10 % de gluten con base en estudios previos (Cortes, 2011) a las formulaciones seleccionadas (60-40, 50-50, 40-60 % HT-HA). Teniendo como resultado las formulaciones que se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14. Formulaciones para elaborar roles de canela con harina de trigo y amaranto agregando gluten**

Formulación	3	4	5
% Harina de Trigo	50	40	30
% Harina de Amaranto	40	50	60
Gluten 10 %			

### Evaluación de propiedades físicas

Los roles de canela elaborados con las formulaciones de la Tabla 13, fueron evaluados en sus parámetros físicos tales como el diámetro (con la ayuda de una regla) y peso (por balanza analítica), estos parámetros se compararon con los de un rol comercial y el control (100 % HT).

### 3.3.5 Metodología para la evaluación sensorial

Para seleccionar la mejor formulación, se llevó a cabo una prueba sensorial de preferencia a 100 jueces no entrenados, presentándoles los tres diferentes roles de canela identificados con una clave y presentándoles el cuestionario que se muestra en la Figura 13 (Watts *et al.*, 1992).

Edad: _____ Sexo: H M			
Producto: Roles de amaranto			
Pruebe por favor las muestras en el orden que se le dan e indique debajo del código correspondiente el nivel de agrado siguiente: 1=no gusta 2=no me gusta ni disgusta 3=me gusta.			
A600	A650	A640	
Comentarios: _____			
_____			
_____			

**FIGURA 13. Cuestionario de la prueba sensorial de preferencia**

### 3.3.6 Análisis químico proximal

Una vez seleccionado el rol elaborado con harinas de trigo y amaranto que más gusto, se realizó su análisis químico proximal usando las técnicas que se explicaron en el apartado 3.3.3 de este capítulo. A este rol de canela seleccionado, también se le realizaron la determinación de triptófano, digestibilidad *in vitro*, contenido de taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina, así como una prueba sensorial de nivel de agrado, todas estas pruebas se explican a continuación:

### 3.3.7 Determinación de parámetros nutrimentales

#### Triptófano

**Técnica:** Hidrólisis enzimática para liberar el triptófano del enlace peptídico Se midió el contenido de triptófano por una técnica enzimática que se basa en la condensación del aminoácido con el p-dimetilamino benzaldhido. Ese producto es tratado con nitrito sódico, produciendo una coloración azul proporcional a la cantidad de triptófano (Rama *et al.*, 1974).

**Curva patrón de triptófano:** Se realizó una curva estándar de 0-100  $\mu g$  de triptófano

$$Y = mx + b \dots \dots \dots Ec.7$$

Dónde:

y = A: absorbancia de la muestra

x = C: concentración de triptófano en la muestra

m = pendiente de la curva estándar

b = ordenada al origen de la curva estándar

$$x = \frac{y-b}{m} \dots\dots\dots \text{Ec.8}$$

**Preparación:** Para la preparación de la muestra se siguieron los siguientes pasos:

1. Se pesó 1g de muestra
2. Se agregó 10 mL de pepsina y se incubo a temperatura ambiente
3. Se adicionó 10 mL de NaOH 0.1N y 10 ml de pancreatina y se incubo por 24 h.
4. Se aforo a 50 mL con agua destilada y la ayuda de un papel filtro  
Se tomaron 2mL y adiciono7.5 ml de HCL concentrado y de DMAB, así como 0.5 ml de NaNO<sub>2</sub> y reposo 15 min.
5. Posteriormente se leyó en el espectrofotómetro a  $\lambda = 590 \text{ nm}$

### **Digestibilidad *in vitro***

**Técnica:** Sistema multienzimático compuesto por tripsina, quimotripsina, peptidasa y proteasa. La digestibilidad *in vitro* permite la estimación de la proporción de nutrientes presentes en el alimento, los cuales tiene la capacidad de ser absorbidos por el tracto digestivo y son fundamentales para establecer su valor nutritivo. Por lo que para esta prueba se determinó primeramente la cantidad de nitrógeno total por Microkjeldahl, y posteriormente preparar una muestra a una concentración de 5.25 mg/ml (50 ml totales), ajustando a un pH ácido 8 con HCL 0.1N agitándolo en un baño de agua caliente a 51 °C (Hsu *et al.*, 1977).

### **3.3.8 Determinación de factores anti-nutrimientales**

#### **Taninos**

Se basa en la extracción de los taninos hidrolizables y condensados (fenoles totales) mediante dimetilformamida (DMF) al 75% y la posterior reducción del ión férrico debido a los iones polifenoles, formando un complejo colorido en condiciones alcalinas, el cuál es cuantificado espectrofotométricamente a 525 nm.

Para realizar la prueba se pesó 1 g de muestra, se le añadió 20 mL de DMF al 75% y se mantuvo en agitación por 1 hora, posteriormente se dejó reposar 15 minutos. Finalizado este tiempo se centrifugó el extracto a 5000 rpm por 20 minutos. Se etiquetaron 2 tubos,

uno para la determinación y otro como blanco, a cada uno se le agregó 1 mL del sobrenadante, 5 mL de agua destilada (6 mL para el caso del blanco), 1 mL de citrato férrico y 1 mL de hidróxido de amoniaco. Una vez que se formó el complejo colorido se leyó la absorbancia a 525 nm y se realizaron los cálculos correspondientes para obtener el porcentaje de taninos en la muestra respecto a la ecuación 9 (ISO, 1988).

$$\%Taninos = \frac{x}{m} * 100 \dots \dots \dots Ec.9$$

Dónde: x=valor obtenido (g)

m=peso de la muestra (g)

### Ácido fítico

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

Se pesó 0.1 g de muestra y se le adicioneo 20 mL de HCl 0.2N, se agito la mezcla por 20 minutos y se centrifugo a 5000 rpm por 15 minutos. Se tomaron 0.5 mL del extracto y se colocaron en un tubo de ensayo, se agregó 1 mL de sulfato férrico de amoniaco 0.2%, se tapó el tubo y se calentó a 95±2 °C por 30 minutos. Transcurrido este tiempo se enfrió el tubo y una vez que se encontró a temperatura ambiente se adicionaron 2 mL de 2,2-Bipiridina y se agitó. A los 30 segundos exactamente de que se adiciono el reactivo se leyó la absorbancia a 519 nm. Se realizaron los cálculos correspondientes para obtener el porcentaje de ácido fítico en la muestra:

- Graficar µg de P del ácido fítico/mL Vs. Absorbancia corregida, realizar la regresión lineal y obtener la ecuación de la recta (y=mx + b).
- Determinar el porcentaje de ácido fítico:

$$P = \frac{x * E}{T}$$

$$\%Acido Fítico = \frac{P*100\%}{\left(\frac{Muestra}{ml HCl}\right)} \dots \dots \dots Ec.10$$

Dónde:

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

T= Equivalente a 185,82g (6 moles de P)

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

### **Inhibidores de tripsina**

La técnica se basa en poner en contacto el extracto acuoso o diluido de una muestra con una solución estándar de tripsina, posteriormente se determina la actividad proteolítica remanente utilizando un sustrato sintético (benzoin-arginina-p-nitroanilide o BAPNA), el cual producirá coloración, que es inversamente proporcional al contenido de inhibidores de tripsina, realizándose la lectura en el espectrofotómetro a una  $\lambda = 410 \text{ nm}$  (Kadake M. L., 1974).

Para la determinación se pesó 1 g de muestra y se adicionó NaOH 0.01N, se ajustó el pH a  $9.6 \pm 0.2$ . Se transfirió esta mezcla a un vaso de precipitados y se mantuvo en agitación por 30 minutos a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo se dejó reposar por 30 minutos para obtener un sobrenadante, posteriormente se centrifugó a 5000 rpm por 5 minutos.

Se colocaron muestras de 0, 0.6, 1.0, 1.4 y 1.8 mL del extracto anterior en tubos de ensayo y se ajustó el volumen de cada uno a 2.0 mL con agua destilada. Se adicionó solución estándar de tripsina y se agitó; se mantuvo en contacto inhibidor de tripsina-tripsina en un baño a  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ . Se adicionó BAPNA al primer tubo y pasados 30 segundos al segundo tubo, así se continuó hasta terminar los cinco tubos. Se mantuvo esta reacción por 10 minutos exactamente en el baño. Pasado el tiempo se añadió 1.0 mL de ácido acético al 30% para detener la reacción enzimática. Se leyó la coloración producida en el espectrofotómetro a  $410 \text{ nm}$ .

Se procede a realizar los cálculos correspondientes:

- Se grafica en el eje de las x los ml de extracto vs en el eje de las y las Unidades de Tripsina Inhibidas por mililitro (UTI/mL) para calcular la regresión lineal.

- La r debe ser mayor a 0.9 y si es así, se sustituye el valor de la ordenada al origen (b) en la siguiente ecuación 11.

$$B \times \text{Factor} \times \frac{\text{vol. aforomuestra}}{\text{mgdemuestra}} = \frac{\text{UTI}}{\text{mgdemuestra}} \dots\dots\dots \text{Ec.11}$$

Dónde:

B=Ordenada al origen.

Factor= Factor de dilución

### 3.3.9 Evaluación sensorial

Se realizó una prueba afectiva para evaluar el nivel de aceptación del producto, la cual se realizó a 100 panelistas (consumidores potenciales) no entrenados, los cuales calificaron a los roles de canela según su nivel de agrado, con base en una escala no estructurada que se muestra en la Figura 14 (Watts *et al.*, 1992).

<b>PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO DE “ROLES DE CANELA”</b>		
EDAD: _____	SEXO:    M    F	FECHA: _____
<b>INSTRUCCIONES:</b> Pruebe los roles de canela y sobre la línea indique con una <b>X</b> su nivel de agrado. En el espacio de abajo, explique brevemente ¿Por qué tomó esa decisión?		
<b><u>ESCALA</u></b>		
DISGUSTA	ES	GUSTA
MUCHO	INDIFERENTE	MUCHO
¿POR QUÉ? _____		
<b>¡GRACIAS</b>		

**FIGURA 14.** Cuestionario de la prueba sensorial de nivel de agrado

### 3.3.10 Análisis estadístico

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se obtuvo su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para las pruebas sensoriales, se calculó la frecuencia y la media y se realizó la comparación de medias por la prueba de rango múltiple t-student con el programa estadístico Origin V. 4.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Análisis químico proximal de la materia prima

Para comparar la composición química de las materias primas, harina de amaranto y harina de trigo marca Tres estrellas se realizó un análisis químico proximal. Los resultados se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Análisis químico proximal de las harinas de trigo y amaranto

Muestra	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Fibra	Carbohidratos
HT	12.06 ± 0.1 <sup>a</sup>	8.92±0.03 <sup>a</sup>	1.11±0.01 <sup>a</sup>	0.49±0.02 <sup>a</sup>	0.72±0.014 <sup>a</sup>	76.7 <sup>a</sup>
HA	12.03±0.03 <sup>a</sup>	15.5 ±0.41 <sup>b</sup>	8.61±0.03 <sup>b</sup>	2.86±0.05 <sup>b</sup>	6.56 ± 0.11 <sup>b</sup>	54.44 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras entre filas indican diferencias estadísticamente significativas (P≤ 0.05)

Los resultados mostraron que la harina integral de amaranto posee un mayor contenido proteico, representando casi el doble, que la harina de trigo. Esto es importante porque no solo es cuestión de cantidad sino de calidad, pues se ha reportado que las proteínas de amaranto tiene una equilibrada composición de aminoácidos esenciales; principalmente lisina, metionina y triptófano, aminoácidos que son deficientes en cereales (Sanz- Panella, 2013; Contreras, 2010) lo que les permite tener un elevado valor biológico para consumo humano (Silva-Sánchez et al., 2008) en relación a la harina de trigo. Por otra parte, el contenido de grasa del amaranto es mayor que el del trigo, y se sabe que esta grasa contiene un alto contenido de ácidos grasos esenciales, entre ellos el ácido linoleico (18:2) también conocido como omega-6 y el ácido linolénico (18:3), así como una importante cantidad de tocoferoles, fitoesteroles y algo muy interesante el escualeno; este último compuesto es un importante intermediario en la síntesis de esteroides en el cuerpo humano. También se tuvo un porcentaje de fibra seis veces mayor en el amaranto que en el trigo, esto es importante porque se sabe que la fibra tiene grandes beneficios para la salud (Álvarez Jubete et al, 2010). Y por último, los valores de cenizas fueron cinco veces más altos en la harina de amaranto, lo cual puede representar un aumento en la concentración de minerales para el



producto final pues se sabe que ésta harina tiene altas cantidades de calcio y hierro (Sanz Penella et al., 2009). Estos resultados nos sugieren que el amaranto puede ser utilizado para complementar la harina de trigo en la formulación para elaborar roles de canela y así mejorar su calidad nutricional.

#### 4.2 Elaboración de roles de canela a partir de las diferentes formulaciones

Posteriormente de acuerdo a la formulación base (tabla 12) así como al diagrama de procesos (Figura 8), se elaboraron las formulaciones propuestas: (80-20, 70-30, 60-40, 50-50, 40-60, 30-70 % HT-HA) a las que se les realizaron pruebas sensoriales y los resultados se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16. Propiedades sensoriales de los roles de canela a diferentes concentraciones**

Formulación	Sabor	Color	Olor	Textura
HT80-HA20	2.8±0.4 <sup>a*</sup>	3±0 <sup>a</sup>	2.4±0.54 <sup>a</sup>	2.6±0.54 <sup>a*</sup>
HT70-HA30	2.8±0.4 <sup>a</sup>	2.8±0.4 <sup>a</sup>	3±0 <sup>b</sup>	3±0 <sup>a</sup>
HT60-HA40	2.6±0.5 <sup>a</sup>	2.6±0.54 <sup>a</sup>	2.8±0.4 <sup>b</sup>	2.6±0.54 <sup>a</sup>
HT50-HA50	3±0 <sup>a</sup>	2.4±0.54 <sup>b</sup>	2.8±0.4 <sup>b</sup>	3±0 <sup>a</sup>
HT40HA60	2.4±0.5 <sup>b</sup>	2.6±0.54 <sup>a</sup>	2.6±0.5 <sup>b</sup>	3±0 <sup>a</sup>
HT30-HA70	1.6±0.54 <sup>c</sup>	2±0 <sup>c</sup>	2.2±0.4 <sup>c</sup>	1.6±0.54 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras entre filas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

Se puede observar que las formulaciones realizadas con 20 y hasta % 60HA son estadísticamente iguales en cuanto a la aceptación ( $P \leq 0.05$ ), sin embargo la formulación con 70 %HA tuvo una clara diferencia ante las demás respecto a su preferencia. Asimismo, se detectó que a medida que aumentó la concentración de harina de amaranto la corteza del pan fue más oscura, por efecto del color de la

harina, hallazgo comparable con lo reportado por Rossell et al. (2009) y Sanz-Penella et al. (2013). Esto podría estar relacionado con el contenido de azúcares reductores y proteínas presentes en las harinas (Repo-Carrasco et al., 2003) que reaccionan durante la cocción produciendo pardeamiento de Maillard (Esteller, Lannes, 2008). También se tuvo una mayor dificultad para manejar la masa y leudó muy poco, por ello es que se descartó para seguir trabajando con ella. Mientras que, las formulaciones con 60, 50 y 40 % de harina de amaranto Tabla 7 mostraron similar aceptación en cuanto a textura, olor, color y sabor, que las dos formulaciones con menor contenido (30 y 20%).

Considerando estos resultados, se seleccionaron las tres formulaciones con mayor cantidad de amaranto, pues además de tener una buena aceptación sensorial, también poseen mayores cualidades nutrimentales que proporciona el amaranto. A dichas formulaciones se les realizó una cuantificación de proteínas para confirmar que, al aumentar el contenido de amaranto en las formulaciones se aumentaba el contenido de proteína en la mezcla de harinas. Los resultados mostraron que, evidentemente el rol con la mayor concentración de amaranto presentó un mayor contenido de proteína Tabla 17.

**Tabla 17. Contenido de proteína en las formulaciones seleccionadas**

<b>Formulación</b>	<b>Proteínas</b>
60 % Amaranto-30 % Trigo- 10% Gluten	16.77±0.60 <sup>a*</sup> cv= 3.58
50 % Amaranto- 40 % Trigo- 10 % Gluten	14.70±0.0057 <sup>b</sup> cv:0.04
40 % Amaranto-50 % Trigo – 10 % Gluten	13.89±0.06 <sup>b</sup> cv:0.45

\* Diferentes letras entre filas indican diferencias estadísticamente significativas (P≤ 0.05)

### 4.3 Prueba sensorial de preferencia

Después, a las tres formulaciones se les realizó una evaluación sensorial de preferencia con 96 jueces no entrenados (Tabla 18).

**Tabla 18. Evaluación sensorial de preferencia a los roles seleccionados**

<b>60 % AMARANTO</b>	<b>50 % AMARANTO</b>	<b>40 % AMARANTO</b>
176 <sup>a</sup>	212 <sup>b</sup>	216 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras entre columnas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

Se observó que los roles de canela con 50 y 40 % de harina de amaranto fueron los más aceptados y entre ellos no existe diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ), mientras que la formulación con 60 % de amaranto fue la menos aceptada ya que los jueces percibieron un resabio amargo después de su ingesta así como una textura arenosa y por esta razón se descartó esta formulación, aun cuando presentó el más alto porcentaje de proteínas. Por ello, de las dos formulaciones más aceptadas y que no tuvieron diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) se seleccionó la que contenía más amaranto (50% de amaranto) para trabajar el resto de la experimentación, considerando su mayor contenido de proteínas, respecto a la formulación con 40 % de amaranto.

### 4.4 Análisis químico proximal de roles de canela elaborados con la formulación seleccionada

Seguidamente al rol seleccionado se le realizó un Análisis químico proximal comparándolo con el rol control (100 % Trigo) y un rol comercial (Tabla 19)

**Tabla 19. Análisis químico proximal de Roles de canela, formulación seleccionada, rol control y rol comercial**

Muestra	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Fibra	Carbohidratos
Rol control (Trigo)	3.69±0.1 <sup>a</sup>	10.83±0.45 <sup>a</sup>	9.75±0.23 <sup>a</sup>	1.89 ±0.03 <sup>a</sup>	3.95±0.008 <sup>a</sup>	69.89 <sup>a</sup>
Formulación 50%HA-40% HT-10 %G	3.7±0.18 <sup>a</sup>	14.70±0.06 <sup>b</sup>	13.6 ±0.10 <sup>b</sup>	2.66±0.005 <sup>b</sup>	6.31±0.12 <sup>b</sup>	59.03 <sup>b</sup>
Rol comercial	4.19±0.18 <sup>a</sup>	9.75±0.01 <sup>b</sup>	13.11 ±0.21 <sup>b</sup>	1.47±0.05 <sup>a</sup>	5.79±0.38 <sup>c</sup>	.69 <sup>ab</sup>

\*Diferentes letras entre filas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ )

Se puede apreciar que el amaranto tuvo un efecto positivo sobre el contenido de proteína, grasa, fibra cruda y cenizas, ya que se logró un incremento de hasta 73.67 % de proteínas del rol elaborado con amaranto respecto al rol control y un 66.32 % sobre el rol comercial, el aporte de grasa comparado con un rol control fue 71.9 % mayor. El aumento del contenido de materia seca como proteínas, cenizas, extracto etéreo (lípidos) y fibra en el rol se debió a la composición química de la harina de amaranto empleada (Montero-Quintero et al., 2011; Molina et al., 2011), lo que fue consistente con lo reportado por Sanz-Penella et al. (2013). Así como que el contenido de fibra cruda y cenizas fueron mayores en 62.59 % y 71.05 % respectivamente. El aumento en el contenido de cenizas se da por la inclusión de harinas integrales lo que constituyó un aumento en la concentración de minerales en el producto final (Sanz-Penella et al., 2009). Así mismo el alto contenido de fibra es importante ya que, la población en general consume poca fibra debido a una alimentación pobre en verduras, frutas, legumbres, cereales y derivados integrales, sin embargo, este rol proporciona el doble de fibra que el rol control.

Los resultados obtenidos del análisis químico proximal confirman un mayor contenido de nutrientes en el rol elaborado con harina de amaranto en comparación con el rol control y el rol comercial. Sin embargo estos resultados deben complementarse con el análisis de la biodisponibilidad que estos puedan tener. Pues se sabe que algunas semillas tienen pobres porcentajes de biodisponibilidad debido a la presencia de compuestos que inhiben la

asimilación de nutrientes que provienen de origen vegetal (proteínas y minerales); estos factores son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables como la flatulencia; disminución en la asimilación de nutrientes, entre otros; los factores anti-nutricionales son sustancias naturales no fibrosas, generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves (DUFFUS, Carol y SLAUGHTER, Colin (1985); MUZQUIZ, M. *et al* (2008).

#### 4.5 Pruebas de calidad nutrimental

Para ello se realizaron pruebas como la digestibilidad *in vitro* y triptófano para el rol elaborado con la formulación seleccionada, el rol control y uno comercial y a la harina de amaranto. Los resultados se muestran en la Tabla 20.

**Tabla 20. Pruebas de calidad nutrimental Roles de canela y Harina de amaranto**

MUESTRA	DIGESTIBILIDAD IN VITRO %	TRIPTOFANO %
ROL CONTROL(100% TRIGO)	88.71±0.45 <sup>a</sup>	0.75 ±0.04 <sup>a</sup>
ROL COMERCIAL	85.09±0.81 <sup>a</sup>	0.80±0.08 <sup>b</sup>
FORMULACIÓN 50 % HA-40 % HT-10 % Gluten	92.25±0.58 <sup>a</sup>	0.92±0.04 <sup>ab</sup>
HARINA DE AMARANTO TULYEHUALCO	79.9±0.08 <sup>b</sup>	1.24±0.07 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras entre columnas indican diferencias estadísticamente significativas (P≤ 0.05)

La prueba de digestibilidad in vitro mostró que entre las tres formulaciones no había diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) teniendo así valores aceptables de digestibilidad. Mientras que la baja digestibilidad en la harina de amaranto podría deberse a que las semillas de amaranto crudas contienen algunos factores anti-nutrimientales; como taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina (Tabla 21).

Por ello es que comparando la digestibilidad entre la harina de amaranto y el rol de amaranto, se puede constatar que en este último aumenta su digestibilidad, pues sufrió un tratamiento térmico el cual ayuda a que las proteínas sean más fácilmente digeribles por las enzimas proteolíticas.

En cuanto al triptófano, pese a que este se encuentra presente en el rol control y el comercial, el rol con amaranto tiene mayor cantidad, aun cuando su contenido disminuyó respecto a la harina de amaranto, seguramente debido al proceso térmico. Además, la presencia del triptófano en el rol de amaranto, puede servir como un indicador de la resistencia de los otros aminoácidos al horneado, pues se sabe que es termo sensible y si el triptófano se conserva en el alimento después del tratamiento térmico, se puede proponer que los otros aminoácidos que aporta el amaranto se mantendrán en el alimento.

#### **4.6 Análisis de compuestos anti-nutrimientales**

A los roles elaborados se les realizó un análisis de factores anti-nutrimientales como ácido fítico, taninos e inhibidores de tripsina.

**Tabla 21. Contenido de factores anti-nutrimientales en los roles de amaranto, rol control, rol comercial y en la harina de amaranto**

<b>Muestra</b>	<b>AC. FITICO %</b>	<b>TANINO %</b>	<b>INHIBIDORES DE TRIPSINA %</b>
ROL CONTROL (100% TRIGO)	ND*	ND	ND
ROL COMERCIAL	ND	0.028±0.0035 <sup>a</sup>	ND
FORMULACIÓN 50A-40T-10G	ND	0.095±0.003 <sup>b</sup>	ND
HARINA DE AMRANTO	0.87±0.04	0.379±0.02	2.77±0.08

\*ND: No Detectado

La presencia de taninos en los roles evaluados muestra una pequeña diferencia de concentración entre el rol comercial y la formulación con amaranto, pero en los dos casos es tan baja la cantidad de taninos que es difícil que llegue a representar un riesgo en la ingesta de estos productos.

La harina de amaranto presenta una mayor cantidad de taninos, sin embargo estos se reducen cuando se exponen a un tratamiento térmico, seguramente por eso disminuyó su concentración en el rol con amaranto, lo cual favorece de manera importante a este alimento ya que las posibilidades de riesgo en su consumo se reducen.

Mientras que el ácido fítico y los inhibidores de tripsina no pudieron ser detectados después de la cocción ya que normalmente, al cocinar el calor desnaturaliza estos factores y con ello casi todo su efecto inhibitor, aunque puede quedar un valor residual (Abreu, Mario, 1995).

## 4.7 Prueba sensorial de nivel de agrado

Después de la realización del análisis químico proximal así como de calidad nutrimental y anti-nutrimental, el rol de amaranto fue sometido a una prueba sensorial de nivel de agrado para conocer la aceptación que este pudiera tener en el mercado.

La prueba se realizó ante 92 jueces no entrenado los cuales contestaron el cuestionario mostrado en el ANEXO 3 y los resultados se muestran en la tabla 22.

**Tabla 22. Prueba de nivel de agrado del Rol de amaranto seleccionado**

<b>Rol de Amaranto</b>	<b># JUECES</b>	<b>Calificación</b>	<b>% Aceptación</b>
50 %HA-40 % HT-10 % G	92	8	61

Con la prueba de nivel de agrado se determinó que el rol de canela a partir de harina de trigo y amaranto, tuvo una buena aceptación de más de la mitad de los jueces, quienes le otorgaron una calificación muy buena (tabla 22), estos resultados representan un buen indicador de la aceptación de este producto, que permitiría una manera diferente y nutritiva de seguir consumiendo un producto que gusta a la población, pero con una mejor calidad nutrimental.



## **5. Conclusiones**

Se comprobó que la harina integral de amaranto tiene una mejor composición química que la harina de trigo y por lo tanto podría complementarla.

Se pudo elaborar roles de canela hasta con 60% de amaranto obteniéndose productos con buena calidad sensorial.

La formulación seleccionada como la mejor para elaborar roles de canela con amaranto fue la que contenía 50 % de harina de amaranto, 40% de harina de trigo y 10% de gluten y este rol presentó una calidad nutrimental mayor respecto al rol control elaborado con 100% harina de trigo y también respecto a un rol comercial.

Los factores anti-nutrimientales presentes en la harina de amaranto disminuyeron o no fueron detectados en el rol de canela con amaranto por lo que no representan un riesgo a la salud de quien consuma este producto.

El rol de canela elaborado con amaranto obtuvo una aceptación de 61% de los consumidores potenciales que realizaron una prueba de nivel de agrado, quienes le otorgaron una calificación de 8 en una escala del 1 al 10.

## **6. Recomendaciones**

Realizar un análisis de aminoácidos al producto, para comprobar que los aminoácidos esenciales que aporta el amaranto se mantuvieron en el rol después del horneado.

Realizar un estudio de factibilidad financiera de la elaboración del rol de amaranto para saber las posibilidades de que se pueda comercializar.

## Referencias

- A.O.A.C. (2002). Official methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists, Cunnif, Published by AOAC International Edition, USA.
- ABREU, Mario. Evaluación nutricional y toxicológica de dos variedades de amaranto de semillas de color negro (A. Uranguesis y A. Maurensis). Revista Cubana Alimentación Nutrición: Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. No. 2. (sep. 1995)
- Advance Food de México. (2012). Un poco de historia del rol de canela. Fecha de consulta: junio 2016. Disponible en: <http://www.advancefooddemexico.com/?p=639>
- Alvarez –Jubete, L., Arent, E, K., Gallaghet, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. Trends in Food Science and Technology. Vol 21:106-113.
- Amaranto: historia y promesa, Herrerías Guerra Gisela. Hernández García Diego Raúl. Artículo publicado en Tehuacán: Horizonte del Tiempo Vol. 1 Patrimonio Histórico de Tehuacán A. C. México 1998. 529pp
- Amazings / NCYT. (2016). El amaranto, un pseudo-cereal con beneficios reales. Noticias de la Ciencia y la Tecnología. Fecha de consultado: Mayo, 2016. Disponible en: <http://noticiasdela ciencia.com/not/9074/el-amaranto-un-pseudocereal-con-beneficios-reales/>
- Antonio Valerio Ornelas (1995). Digestibilidad in vitro y aminogramas de las semillas de amaranthus hypochondriacu. Tesis licenciatura. Las agujas Zapopán, Jal. Universidad de Guadalajara.
- AOAC (2012). Official methods of analysis of AOAC international. Ed. 19<sup>th</sup>. Vol II
- Armas, E. P. (04/03/2015). Ocupa Tlaxcala primer lugar a nivel nacional en producción de amaranto. La jornada
- Badui, Salvador (1990). Química de alimentos. México: Alhambra. pp. 15-19, 95 .
- Boucher, F. y Muchnik, J. (1994). *Agroindustria rural*. años , C.R.: CIRAD

- Bressani Ricardo (1994). Composition and Nutritional Properties of Amaranth. In: Amaranth biology, chemistry and technology. Paredes LO, editor. México: Instituto Politécnico Nacional; p. 185-187..
- Bressani, Ricardo (1989). Turrialba Revista interamericana de ciencias agrícolas.Vol.39. N° 2
- Calaveras, Jesús (2000) Nuevo tratado de panificación y bollería. España: Mundi Prensa pp 25-29, 38, 125-1
- Campo Cruz, C., Chávez Hernández, M., Hernández Martínez, D., Ortega Aguilar, P. and Tejeda López, V. (2010). Propuesta para la creación de una empresa elaboradora de donas en el Distrito Federal. Tesis de Licenciatura. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas. Instituto Politécnico Nacional.
- CANAINPA. Historia del pan. Fecha de consulta: Mayo, 2016 disponible en: <http://www.canainpa.com.mx/varios/historia.asp>
- Características Nutricionales de Amaranto, 2006. San Miguel es Amaranto. Fecha de consultado: Junio, 2016. Disponible en: [http://www.sanmiguel.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=15&](http://www.sanmiguel.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=15&)
- Carbohidratos de la harina de trigo. Consultado Junio 2016. Disponible en: <http://alimentos.org.es/carbohidratos-harina-trigo>
- Carpio J., 2009. Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto. Universidad de el Salvador.
- Composición química del Amaranthus dubius: una alternativa para la alimentación humana y animal. Rev. Fac. Agron. LUZ 28(Supl. 1): 619-627. Montero-QuiRosell CM, Cortez G, Repo-Carrasco R (2009) Breadmaking use of Andean crops quinoa, Kañiwa, Kiwicha, and Tarwi. Cereal Chem. 86: 386-392.
- Contreras López Elizabeth, Judith Jaimez Ordaz, Griselda Porras Martínez, Luis Felipe Juárez Santillán, Javier Añorve Morga y Socorro Villanueva Rodríguez (Junio, 2010). Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de harinas para preparar atole de amaranto. ALAN V.60 N.2 Caracas.

- Cortes Ávila Dayan Yenifer (2011). Desarrollo de un pan complementado con harina de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. FES Cuautitlán Universidad Nacional Autónoma de México.
- Díaz Molina Tania (2012). Desarrollo de una formulación para una galleta a base de amaranto para aumentar su calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. FES Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México.
- DUFFUS, Carol y SLAUGHTER, Colin. Las semillas y sus usos. México: A.G.T., 1985. p.10-11, 18-21, 32-35, 102-107, 122.
- El semanario. Amaranto el cereal que nunca muere. Fecha de consulta: Mayo, 2016. Disponible en: <http://elsemanario.com/119466/amaranto-el-cereal-que-nunca-muere/>
- Elizalde, Ana de Dios, Porrilla, Yamid P. (2009). Factores anti-nutricionales en semillas. Grupo de Investigación Innovaciones Agroindustriales con Proyección Social. Fecha de consulta: Mayo 2016. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a07.pdf>
- Escobedo García Jorge Iván (2013). Desarrollo de una botana complementada con amaranto (*Amarantus hypochondriacus*) para aumentar su calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. FES Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Foodwardturtle.com (2015). Trigo y harina: El preámbulo del Pan. Consultado Octubre, 2016. Disponible en: <http://foodwardturtle.com/trigo-y-harina-el-preambulo-del-pan/>
- García Olmedo, Francisco (1964). Papel de la fermentación en la fabricación del pan. "Cereales", v. 173; pp. 13-15.
- Gil Hernández Ángel (2010). Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. España: Medica Panamericana.
- Guía del emprendedor. Amaranto. Fecha de consulta: Mayo, 2016. Disponible en: <http://www.guiadelemprendedor.com.ar/Amaranto.htm>
- Haug. W., Lantzsch, H.J (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products, J. Sci. Food Agric.34:14232-14261.
- Haug. W., Lantzsch, H.J (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products, J. Sci. Food Agric.34:14232-14261.

- Hiervas y especias. Fecha de consulta: Junio 2016. Disponible en: [http://melkattalakis.blogspot.mx/2015\\_07\\_01\\_archive.html](http://melkattalakis.blogspot.mx/2015_07_01_archive.html)
- Hosoney,R.Carl. (1994). Cereals. Science and Technology. España: Acribia. pp. 129-138
- Hsu, H. W., D. D Vavak, Satterlee L.D y. Miller G.A (1977). A multienzyme technic for estimating protein digestibility, *J. Food Sci.* 42 (5):1269-1273
- Hsu, H. W., D. D Vavak, Satterlee L.D y. Miller G.A (1977). A multienzyme technic for estimating protein digestibility, *J. Food Sci.* 42 (5):1269-1273
- INAES. Panificación. Guía empresarial. Fecha de consulta: Junio 2016. Disponible en: [http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia\\_empresarial/panificacion.pdf](http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresarial/panificacion.pdf)
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Banco de información económica en el sector alimentario. Fecha de consultado: Abril, 2016. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Panificados: pan francés coordinado por José Kurlat. - 3a ed. - Buenos Aires: Inst. Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2009. (Cuadernillo para unidades de producción. panificados, pan francés / Inti)
- ISO. (1988). Determinación del contenido de taninos en sorgo. International Organization of Standardizations. ISO/DIS 9648.pp. 175-215.
- ISO. (1988). Determinación del contenido de taninos en sorgo. International Organization of Standardizations. ISO/DIS 9648.pp. 175-215.
- Juárez Z.N, M.E Barcenás-Pozos y L.R. Hernández. (2014). el grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. 2014, de Temas selectos de ingeniería en alimentos. Fecha de consulta: Abril, 2016. Disponible en: <http://web.udlap.mx/tsia/files/2015/05/TSIA-81->
- Kakade, M.L., Rackis, J.J, McGhee JE, Puski G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51:376-381.
- Kakade, M.L., Rackis, J.J, McGhee JE, Puski G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51:376-381.

- Mateo Box, J., Novillo Carmona, J. y Carrera Morales, M. (2005). Prontuario de agricultura. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Meilán Marcos. Ácido Fítico y los Fitatos de los Alimentos julio13, 2015. Fecha de consulta: Agosto, 2016. Disponible en: <http://www.adelgazarrapidoweb.com/nutricion/acido-fitico-fitatos/>
- MEXIPAN. Feria internacional de la industria del pan 2ª edición Guadalajara 2015.
- Molina E, González-Redondo P, Montero K, Ferrer R, MorenoRojas R, Sánchez-Urdaneta AB (2011) Efecto de la época de recolecta y órgano de la planta sobre el contenido de metales de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. *Interciencia* 36: 386-391.
- Montero-Quintero K, Moreno Rojas R, Molina E, Sánchez-Urdaneta AB (2011) Composición química del *Amaranthus dubius*: una alternativa para la alimentación humana y animal. *Rev. Fac. Agron. LUZ* 28(Supl. 1): 619-627.
- MUZQUIZ, M. et al. Factores no-nutritivos en fuentes proteicas de origen vegetal : Su implicación en nutrición y salud [en línea]. *BRAZILIAN JOURNAL OF FOOD TECHNOLOGY* [Río de Janeiro, Brasil]:
- NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.
- Peralta, Eduardo, 2009. Amaranto y Ataco; preguntas y respuestas. Boletín divulgativo. N° 359. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación EXPERIMENTAL Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador, 8 P.
- Procesamiento de granos y semillas. Instituto de Ciencias Agropecuarias UAEH. Fecha de consulta: Junio 2016. Disponible en: <http://granosysemillas.bligoo.mx/>
- Producción mundial de trigo 2016/2017. Fecha de consulta: Agosto, 2016. Disponible en: <https://www.produccionmundialtrigo.com/>
- Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. Disponible en: [http://www.utm.mx/edi\\_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf](http://www.utm.mx/edi_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf)

- Quaglia, Daniel (1986). *Ciencia y tecnología de la Panificación*. España: Acribia. pp. 22, 46, 90-105.
- Rama Rao, M.V., Tara, M, R., Krishanan, C. K. (1974). Colometric estimation of tryptophan content of pulses. *J. Food Sci. And Techn* 11:213-216
- Rama Rao, M.V., Tara, M, R., Krishanan, C. K. (1974). Colometric estimation of tryptophan content of pulses. *J. Food Sci. And Techn* 11:213-216
- Reglamentación técnico-sanitaria. Pan, panes especiales y productos semielaborados. (Texto refundido de los reales decretos 1137/1984, de 28 de marzo; 285/1999, de 22 de febrero y 1202/2002, de 20 de noviembre).
- Rosell CM, Cortez G, Repo-Carrasco R (2009) Breadmaking use of Andean crops quinoa, Kañiwa, Kiwicha, and Tarwi. *Cereal Chem.* 86: 386-392.
- Sanz-Penella JM, Tamayo-Ramos JA, Sanz Y, Haros M (2009) Phytate reduction in bran-enriched bread by phytase-producing bifidobacteria. *J. Agric. Food Chem.* 57: 239-244.
- Sanz-Penella JM, Wronkoswska M, Soral-Smietana M, Haros M (2013) Effect of whole flour on bread properties and nutritive value. *LWT-Food Sci. Technol.* 50: 679-685.
- Sarmiento Viteri Yesenia Lesly (2015). Estudio de la sustitución parcial de la harina de trigo por la harina de amaranto crudo y tostado en la elaboración de pan. Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito
- Serna-Saldivar, S. R. O (2009). *química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. D.F. México: AGT Editor. S.A.
- Shewry, P. R., and Halford, N. G. 2002 Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53: 947-958
- Shewry, P. R., Napie, J. A., and Tatham, A. S. 1995 Seed storage proteins: Structures and biosynthesis. *The Plant Cell*, 7: 945-956
- SIAP. 2016. Del trigo al pan. Consultado Mayo, 2016. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/3/04-trigo/contexto-1.html>
- Silva SC, Barba RAP, León GMF, Lumen BO, León RA, González ME. Bioactive peptides in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed. *J. Agric. Food Chem.*; 56: 1233-1240, 2008.

- Silva-Sánchez C, Barba de la Rosa AP, León-Galván MF, De Lumen BO, De León-Rodríguez A, De Mejía E (2008) Bioactive peptides in amaranth (*Amaranthushypochondriacus*) seed. *J. Agric. Food Chem.* 56: 1233-1240.
- Situación alimentaria mundial. Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. Fecha de consulta: Agosto, 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Situación del sector de panificados en México. Por Cámara Nacional de la Industria Panificadora y Similares de México (CANAINPA) 2009. Fecha de consulta: Mayo, 2016.
- Temas de ciencia y tecnología (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. Temas de ciencia y tecnología. Fecha de consulta: Mayo 2016. Disponible en: [http://www.utm.mx/edi\\_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf](http://www.utm.mx/edi_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf)
- Travelbyméxico, 2016. Fecha de consulta: Junio, 2016. Disponible en: <http://www.travelbymexico.com/estados/estadodemexico>
- Trigo-tierno. Fecha de consulta: Mayo, 2016. Disponible en: <http://www.ecoportat.net/Alimento-Estrella/Trigo-tierno>
- Watts, B. M, Ylimaki G.L Jeffery L E, Elías L G. (1992). Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. Ed. CIID, Ottawa.



# ANEXOS

## ANEXO 1

### Cuestionario de la prueba sensorial de preferencia

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

Producto: roles de amaranto

Pruebe por favor las muestras en el orden que se le dan e indique debajo del código correspondiente el nivel de agrado siguiente: 1=no gusta 2=no me gusta ni disgusta 3=me gusta.

Comentarios: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

<b>Rol de canela</b>	<b>Código</b>
60% HA-30% HT-10% G	A600
50% HA-40% HT-10% G	A650
40% HA-50% HT-10% G	A640

## ANEXO 2

### Resultados de la prueba sensorial de preferencia

JUEZ	A600	A650	A640
1	3	2	2
2	2	2	1
3	3	3	2
4	3	1	2
5	2	3	3
6	2	3	3
7	2	3	3
8	1	3	3
9	1	2	2
10	1	3	2
11	2	3	3
12	2	2	3
13	2	2	3
14	2	2	3
15	2	3	1
16	2	2	3
17	2	3	1
18	2	3	2
19	2	3	2
20	2	2	3
21	3	2	2
22	1	2	2
23	2	2	3
24	2	2	3
25	2	3	3
26	1	3	2
27	2	2	3
28	2	2	3
29	2	1	2
30	1	1	3
31	2	1	3
32	1	2	3
33	1	2	3
34	2	3	2
35	1	2	3

36	1	3	1
37	1	2	2
38	1	1	2
39	1	2	1
40	1	3	2
41	2	3	3
42	2	2	3
43	3	2	1
44	1	2	3
45	1	2	3
46	1	2	3
47	3	2	1
48	3	2	2
49	1	2	2
50	3	3	3
51	2	3	2
52	1	2	2
53	3	3	3
54	2	2	3
55	3	2	2
56	1	2	3
57	1	2	3
58	3	2	2
59	2	3	2
60	1	2	1
61	2	1	3
62	1	2	2
63	2	2	1
64	2	3	1
65	2	2	3
66	2	3	2
67	2	3	1
68	2	3	1
69	2	2	1
70	3	3	3
71	3	3	2

72	1	3	3
73	1	3	3
74	3	2	3
75	2	3	3
76	2	2	3
77	2	2	3
78	1	1	3
79	2	3	2
80	3	3	3
81	3	1	1
82	1	2	3
83	1	2	2
84	2	3	2
85	2	2	3
86	3	1	1
87	4	3	3
88	2	3	2
89	2	2	3
90	1	3	2
91	3	2	3
92	3	3	3
<b>PUNTUACIÓN</b>	<b>176</b>	<b>212</b>	<b>216</b>

## ANEXO 3

### Cuestionario de la prueba sensorial de nivel de agrado

#### PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO DE “Roles de canela”

EDAD: \_\_\_\_\_ SEXO: M F FECHA: \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:** Pruebe los roles de canela” y sobre la línea indique con una **X** su nivel de agrado en el espacio de abajo. El cual va de 1-10 donde 1 es me disgusta mucho y 10 significa que me gusta mucho, explique brevemente ¿Por qué tomó esa decisión?

#### ESCALA

---

DISGUSTA	ES	GUSTA
MUCHO	INDIFERENTE	MUCHO

¿POR QUÉ?

---

---

## ANEXO 4

### Resultados de la prueba sensorial de nivel de agrado

JUEZ	CALIFICACIÓN	JUEZ	CALIFICACIÓN	JUEZ	CALIFICACIÓN
1	10	32	9.8	63	5.3
2	10	33	9.5	64	5.3
3	10	34	9.5	65	5.3
4	10	35	9.4	66	5.2
5	10	36	9.3	67	5.2
6	10	37	9.3	68	5.2
7	10	38	9.2	69	5.2
8	10	39	9	70	5
9	10	40	8.8	71	5
10	10	41	8.8	72	5
11	10	42	8.5	73	5
12	10	43	8.3	74	5
13	10	44	8.2	75	5
14	10	45	8.1	76	5
15	10	46	8	77	5
16	10	47	8	78	5
17	10	48	7.8	79	5
18	10	49	7.7	80	5
19	10	50	7.7	81	5
20	10	51	7.6	82	5
21	10	52	7.5	83	4.8
22	10	53	7	84	4.8
23	10	54	6.5	85	4.6
24	10	55	6.2	86	4.5
25	10	56	6	87	4.5
26	10	57	5.5	88	4
27	10	58	5.5	89	3.9
28	10	59	5.5	90	1.2
29	10	60	5.5	91	1
30	9.8	61	5.5	92	0
31	9.8	62	5.3		
		% aceptación	60.86	Media	8