



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Elaboración de un bollo para hamburguesa
complementado con harina integral de amaranto
(*Amaranthus hypochondriacus L.*)**

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

PRESENTA

LAURA ADRIANA ORTIZ QUINTERO

ASESOR: Dr. Enrique Martínez Manrique

COASESORA: I.A Verónica Jiménez Vera

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



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.

RECONOCIMIENTO

*EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL
LABORATORIO DE BIOQUÍMICA Y
FISIOLOGÍA DE GRANOS DE LA FES-
CUAUTITLÁN, COMO UN PROYECTO DEL
TALLER MULTIDISCIPLINARIO DE
PROCESOS TECNOLÓGICOS DE CEREALES
CON EL APOYO DEL PROGRAMA PIAPI-1606.*

AGRADECIMIENTOS

Mi largo camino como estudiante llegó a su fin, y aunque no fue fácil es muy grato culminarlo con mi trabajo final; mi tesis, demostrando que lo logre a pesar de que tuve varios obstáculos para llegar hasta aquí.

Pero este camino no lo recorrí sola, me acompañaron muchas personas importantes, entre ellas; MIS PADRES Julia y Ernesto, sin los cuales no lo hubiera logrado, no tengo palabras suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí, si tuviera la oportunidad de elegirlos, los escogería de nuevo sin pensarlo, me apoyaron en todos los aspectos de mi vida y esta meta no es solo mía, si no suya también, aunque mi papá ya no se encuentra entre nosotros, fue mi ángel que me estuvo apoyando desde allá arriba, sé muy bien que me está observando en estos momentos con una gran sonrisa.

También agradezco de una manera muy especial a Willy que siempre me apoyo desde el inicio de mi carrera profesional y de mi hermano Ernesto que en momentos de estrés siempre me saca una sonrisa.

A Erick que siempre ha estado conmigo en los momentos más difíciles que he pasado, eres muy especial en mi vida y sin ti no hubiera sido lo mismo este trayecto durante la universidad, apoyándome desde principio a fin, me siento muy orgullosa que pronto los dos seremos oficialmente Ingenieros en Alimentos, **TE AMO.**

A todos mis PROFESORES, que tuve a lo largo de mi formación académica, especialmente a mis asesores de tesis el Dr. Enrique Martínez Manrique y a la IA. Verónica Jiménez Vera, que estuvieron siempre al pendiente que culminará este proyecto de manera satisfactoria, de igual forma a mis sinodales que me apoyaron a realizar un mejor trabajo.

A mis AMIGOS y COMPAÑEROS que tuve el placer de conocerlos durante mi estadía en la universidad; Rocio, Haen, Ale y Susana especialmente a ustedes que estuvieron conmigo desde el inicio, compartiendo risas y a veces lágrimas, siempre los recordaré con mucho cariño, que además de brindarme su amistad, me apoyaron mucho en cuestiones académicas.

A mis compañeras del taller de cereales, sin ustedes no hubiera sido lo mismo, fue un placer conocerlas e hicieron muy grato mi último semestre de estudios, les deseo mucho éxito en su camino.

No me queda más que decirle a cada uno de ustedes

MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 Trigo	1
1.1.1 Origen	1
1.1.2 Producción en México	2
1.1.3 Clasificación botánica y características	5
1.1.4 Composición química y valor nutrimental	7
1.1.5 Clasificación industrial	8
1.1.6 Gluten	9
1.1.7 Harina de trigo y clasificación	9
1.2 Generalidades de la panificación	13
1.2.1 Origen y definición	13
1.2.2 Procesos de panificación	14
1.2.2.1 Panificación directa	14
1.2.2.2 Sistema de panificación tipo esponja	14
1.2.3 Principales productos elaborados	15
1.2.3.1 Valor nutricional	15
1.2.3.2 Desnutrición y obesidad en México	16
1.3 Bollos para hamburguesa	17
1.3.1 Origen y definición	17
1.3.2 Principales ingredientes en su elaboración	18
1.3.2.1 Harina de trigo	18
1.3.2.2 Levadura	19
1.3.2.3 Agua	19
1.3.2.4 Leche	19
1.3.2.5 Azúcar	20
1.3.2.6 Sal	20

1.3.2.7 Huevo	20
1.3.2.8 Mejorante	21
1.3.2.9 Grasa	21
1.3.3 Composición química	21
1.3.4 Producción en México	22
1.4 Amaranto	23
1.4.1 Origen	23
1.4.2 Producción en México	25
1.4.3 Clasificación botánica y características	25
1.4.4 Composición química y valor nutrimental	28
1.4.5 Harina integral de amaranto	30
1.5 Factores anti-nutrimientales	30
1.5.1 Taninos	31
1.5.2 Ácido fítico	31
1.5.3 Inhibidores de tripsina	32
<u>CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL</u>	33
2.1 Objetivos	33
2.1.1 Objetivo general	33
2.1.1.1 Objetivos particulares	33
2.2 Cuadro metodológico	35
2.3 Metodología	36
2.3.1 Material biológico	36
2.3.2 Preparación de la muestra	36
2.3.3 Análisis Químico Proximal	36
2.3.3.1 Determinación de humedad	36
2.3.3.2 Determinación de grasa	37
2.3.3.3 Determinación de proteínas	37
2.3.3.4 Determinación de cenizas	38
2.3.3.5 Determinación de fibra	38
2.3.3.6 Determinación de carbohidratos	39

2.3.4	Elaboración de bollo para hamburguesa	39
2.3.5	Parámetros de calidad física de bollo para hamburguesa	43
2.3.5.1	Peso	43
2.3.5.2	Volumen	44
2.3.5.3	Dimensiones	45
2.3.6	Parámetros de calidad panadera de bollo para hamburguesa	46
2.3.6.1	Olor, sabor	46
2.3.6.2	Color de la costra	46
2.3.6.3	Textura de la miga	47
2.3.7	Evaluación sensorial	48
2.3.7.1	Prueba de preferencia	48
2.3.7.2	Prueba de nivel de agrado	49
2.3.8	Análisis Químico Proximal	49
2.3.8.1	Humedad por termobalanza	49
2.3.9	Evaluación de la calidad nutrimental de bollo para hamburguesa seleccionado	50
2.3.9.1	Cuantificación de triptófano	50
2.3.9.2	Digestibilidad <i>in vitro</i>	51
2.3.9.3	Relación de Eficiencia Proteica (PER)	51
2.3.10	Factores anti-nutrimientales	52
2.3.10.1	Taninos	52
2.3.10.2	Ácido fitico	53
2.3.10.3	Inhibidores de tripsina	55
2.3.11	Análisis estadístico	56
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		57
3.1	Análisis químico proximal de la materia prima	57
3.2	Bollo para hamburguesa comercial y elaboración de bollo para hamburguesa control	58
3.2.1	Pruebas de calidad física	59
3.2.2	Pruebas de calidad panadera	60
3.2.3	Análisis químico proximal de bollo control y bollo comercial	62
3.3	Formulaciones a base de harina de trigo y harina integral de amaranto	63

3.3.1 Pruebas de calidad física	63
3.3.2 Pruebas de calidad panadera	64
3.4 Formulaciones a base de harina de trigo, harina integral de amaranto y gluten	66
3.4.1 Pruebas de calidad física	67
3.4.2 Pruebas de calidad panadera	68
3.5 Evaluación sensorial (prueba de preferencia)	71
3.6 Análisis químico proximal del bollo para hamburguesa seleccionado	73
3.7 Evaluación de la calidad nutrimental del bollo para hamburguesa seleccionado	74
3.7.1 Cuantificación de triptófano	74
3.7.2 Digestibilidad <i>in vitro</i>	75
3.7.3 Relación de Eficiencia Proteica (PER)	76
3.7.4 Digestibilidad <i>in vivo</i>	77
3.8 Factores anti-nutrimientales	78
3.8.1 Taninos	78
3.8.2 Ácido fítico	79
3.8.3 Inhibidores de tripsina	80
3.11 Evaluación sensorial (prueba de nivel de agrado)	80
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Origen del trigo en Mesopotamia	1
Figura 2. Origen del trigo en México	2
Figura 3. Producción en volumen de trigo en México	3
Figura 4. Estados productores de trigo en México	4
Figura 5. Espiga de trigo	5
Figura 6. Diagrama esquemático del grano de trigo	6
Figura 7. (A) Alveógrafo Chopin y (B) Alveogramas típicos	11
Figura 8. Origen del pan en Egipto	13
Figura 9. Productos de panificación	15
Figura 10. Pan para hamburguesa	18
Figura 11. Producción en volumen anual de bollos para hamburguesa	22
Figura 12. Producción en valor anual de bollos para hamburguesa	23
Figura 13. Códice Florentino de las yerbas que se comen y cosecha de la alegría	24
Figura 14. Producción de amaranto en México	25
Figura 15. Planta de amaranto	26
Figura 16. Corte longitudinal del grano de amaranto a. cubierta (episperma), b. endosperma, c. embrión (cotiledones), d. perisperma (almidón)	27
Figura 17. Diagrama de procesos para elaboración de bollos para hamburguesa	42
Figura 18. Balanza granataria Tor Rey L-EQ	43
Figura 19. Medidor de volumen (panvolumenómetro)	44
Figura 20. Escala de evaluación de volumen del pan para hamburguesa	45
Figura 21. Vernier Mitutoyo	45
Figura 22. Ángulos del bollo en donde fueron realizadas las mediciones	45
Figura 23. Escala de evaluación de apariencia general del pan para hamburguesa	46
Figura 24. Escala de evaluación de atributo sensorial color de la costra	47
Figura 25. Escala de evaluación de textura de la miga	48
Figura 26. a) Bollo elaborado con 100% harina refinada de trigo, a ₁) altura a ₂) prueba miga y b) Bollo comercial, b ₁) altura b ₂) prueba miga	62

Figura 27. Formulación 80:20 (harina refinada de trigo: harina integral de amaranto) a) Bollo, a ₁) altura a ₂) prueba miga, formulación 70:30 b) Bollo, b ₁) altura b ₂) prueba miga, y formulación 60:40 c) Bollo, c ₁) altura c ₂) prueba miga	66
Figura 28. Formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo: harina integral de amaranto: gluten) a) Bollo, a ₁) altura a ₂) prueba miga, formulación 60:30:10 b) Bollo, b ₁) altura b ₂) prueba miga, formulación 50:40: c) Bollo, c ₁) altura c ₂) y formulación 40:50:10 d) Bollo, d ₁) altura d ₂) prueba miga	70
Figura 29. Muestras de bollos para prueba de preferencia	71
Figura 30. Descriptores indicados por los jueces para prueba de preferencia	72
Figura 31. Descriptores indicados por los jueces para prueba de nivel de agrado	81
Figura 32. Bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto (70 % harina refina de trigo, 20 % harina integral de amaranto, 10 % gluten)	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química proximal del grano de trigo entero	7
Tabla 2. Composición de aminoácidos de la proteína de trigo (g/100 g de proteína)	8
Tabla 3. Composición química proximal de la harina	10
Tabla 4. Características de distintos tipos de harina	12
Tabla 5. Composición química de pan de molde bimbollo Bimbo (100 g de porción comestible)	21
Tabla 6. Comparación de contenido de proteínas del amaranto con otros cereales	28
Tabla 7. Composición química proximal del amaranto	28
Tabla 8. Contenido de aminoácidos en g/100 g de proteína	29
Tabla 9. Composición química proximal de harina integral de amaranto	30
Tabla 10. Formulación base de harina refinada de trigo para elaborar bollos para hamburguesa	39
Tabla 11. Formulaciones propuestas para elaborar bollos para hamburguesa a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto	40
Tabla 12. Formulaciones propuestas para elaborar bollos para hamburguesa a base de harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten de trigo	41
Tabla 13. Análisis químico proximal de harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto utilizadas como materia prima	57
Tabla 14. Formulaciones evaluadas para la elaboración de bollos para hamburguesa	59
Tabla 15. Características físicas de bollo comercial y bollo elaborado con 100% harina refinada de trigo	60
Tabla 16. Características panaderas de bollo comercial y bollo elaborado con 100% harina refinada de trigo	61
Tabla 17. Análisis químico proximal de bollo comercial y bollo elaborado con 100% harina refinada de trigo	63
Tabla 18. Características físicas de bollos para hamburguesa elaborados con diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto	63

Tabla 19. Características panaderas de bollos para hamburguesa elaborados con diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto	65
Tabla 20. Características físicas de bollos para hamburguesa elaborados con diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten	67
Tabla 21. Características panaderas de bollos para hamburguesa elaborados con diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten	68
Tabla 22. Resultados de prueba de preferencia aplicada a los bollos para hamburguesa elaborados con las diferentes formulaciones propuestas	71
Tabla 23. Análisis químico proximal de bollo para hamburguesa con formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten) y bollo control	73
Tabla 24. Humedad por termobalanza de bollos para hamburguesa control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)	74
Tabla 25. Valores obtenidos de triptófano de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)	75
Tabla 26. Digestibilidad in vitro de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)	76
Tabla 27. Relación de Eficiencia Proteica (PER)	77
Tabla 28. Digestibilidad aparente	77
Tabla 29. Valores obtenidos de taninos de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)	79
Tabla 30. Valores obtenidos de ácido fítico de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)	79
Tabla 31. Valores obtenidos de inhibidores de tripsina de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)	80
Tabla 32. Resultados de prueba de nivel de agrado aplicada a bollo para hamburguesa seleccionado en prueba de preferencia	81

RESUMEN

El amaranto es un pseudocereal con alto contenido de proteínas, posee aminoácidos esenciales para la alimentación humana como la lisina, que comúnmente es limitante en otros cereales, además contiene otros compuestos importantes, tales como minerales, grasas y fibra; siendo este grano comparable en valor nutricional con la leche, por lo que puede ser utilizado en la elaboración de nuevos productos alimenticios. El consumo de pan y productos de panadería hechos a base de harina refinada de trigo suele ser la tendencia habitual, siendo rica en carbohidratos, sin embargo, esta harina se caracteriza por un limitado valor nutricional. Dentro de la gran variedad de productos elaborados con trigo, en los últimos años se tienen un aumento de producción y consumo de bollos para hamburguesa en México. Es por ello que el objetivo de este proyecto fue desarrollar bollos para hamburguesa, con mayor calidad nutrimental, mediante el uso de harina integral de amaranto, con el fin de evaluar su potencial como ingrediente en su elaboración. En la formulación base, la harina refinada de trigo se sustituyó por harina integral de amaranto en distintas proporciones (20, 30, 40 y 50 %). La calidad del producto fue analizada en términos de su composición química, volumen, volumen específico, peso, dimensiones, olor, sabor, color de la corteza, textura de la miga y una prueba sensorial de preferencia para seleccionar la mejor formulación. Al bollo elaborado con esta formulación se le evaluaron sus propiedades nutricionales, factores anti-nutrimientales y una prueba sensorial de nivel de agrado. Los resultados mostraron que la formulación seleccionada fue 70 % harina refinada de trigo, 20 % harina integral de amaranto y 10 % de gluten, la cual presentó mejor calidad nutrimental que un bollo para hamburguesa comercial, ya que tuvo un mayor contenido de cenizas (1.5 %), proteínas (5 %) y grasa (1.5 %), en cuanto a sus propiedades nutrimentales no se presentó diferencia obteniendo para el bollo para hamburguesa comercial 1.08 g Try/100 g de proteína con una digestibilidad de 87.74 % en comparación con el bollo seleccionado que obtuvo 1.066 g Try/100 g de proteína con una digestibilidad de 88.94 %, a excepción de los factores anti-nutrimientales; taninos y ácido fítico, en los cuales se tuvo un mayor contenido en el bollo para hamburguesa seleccionado. Finalmente el bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto fue del agrado de los consumidores, obteniendo un porcentaje de aceptación del 70.21 % y una calificación de 7.55.

INTRODUCCIÓN

Los cereales en sus diversas formas son un componente esencial de la dieta, siendo fuente importante de hidratos de carbono, proteínas, fibra dietética y vitaminas (Sanz, 2011). El trigo es el segundo grano de mayor producción a nivel mundial después del maíz. Más del 60 % de la producción mundial es utilizada para alimentación humana y su uso es cada vez más común en países en desarrollo de Asia y Latinoamérica (SAGARPA, 2011).

El consumo de pan y productos de panadería hechos a base de harina refinada de trigo suele ser la tendencia habitual, sin embargo, esta harina se caracteriza por un limitado valor nutricional (Sanz, 2011). Dentro de la gran variedad de productos elaborados con trigo, se tienen un aumento de producción y consumo en los últimos años de bollos para hamburguesa en México (INEGI, 2015), debido al aumento del ritmo de vida de los mexicanos.

Por otra parte, en la actualidad, México y Estados Unidos, ocupan los primeros lugares de prevalencia mundial de obesidad en la población adulta (30 %), la cual es diez veces mayor que la de países como Japón y Corea (4 %). En nuestro país, las tendencias de sobrepeso y obesidad en las diferentes encuestas nacionales muestran un incremento constante de la prevalencia a lo largo del tiempo. De 1980 a la fecha, la prevalencia de obesidad y sobrepeso en México se ha triplicado, alcanzando proporciones alarmantes (Barrera, 2013).

Los factores económicos, sociales, la disponibilidad de alimentos además de los pocos conocimientos sobre la alimentación y nutrición adecuada de los individuos, conllevan a la necesidad urgente de desarrollar nuevas investigaciones sobre alimentos mejorados proteínicamente para fortalecer la dieta de la población (Montes *et al.*, 2010). Este proceso, mediante el cual se elimina o disminuye el déficit de aminoácidos esenciales de una proteína se denomina "Complementación Proteica" (Cutullé *et al.*, 2012).

Por ello, la tendencia actual hacia el desarrollo de alimentos más nutritivos ha ganado terreno a nivel mundial, especialmente en los productos de panadería, los cuales han sido

complementados con diferentes sustancias nutritivas y protectoras que permiten disminuir la incidencia de diversos tipos de patologías asociadas con los alimentos (Montero *et al.*, 2015).

Una posibilidad para aumentar el aporte nutritivo, sería la de incluir el grano de amaranto en formulaciones de pan o productos de panadería. El grano de amaranto fue uno de los cultivos prehispánicos más importantes y formaba parte de la dieta de los aztecas, mayas, incas y otras culturas precolombinas. Pertenece a un grupo de granos considerados como pseudocereales ya que tiene propiedades similares a las de los cereales, pero botánicamente no pertenece a esa familia. Su proteína es excepcional en cuanto a su calidad por su alto contenido de lisina y, por lo tanto, un complemento nutricional óptimo para los cereales convencionales, como el trigo, deficientes en ese aminoácido (Dyner *et al.*, 2007). En la actualidad, existe un renovado interés en su cultivo debido al potencial que presenta en la elaboración de nuevos productos alimenticios, sus beneficios nutricionales y sus ventajas agrícolas (Sánchez, 2010).

Es por ello que en el presente proyecto se llevará a cabo el desarrollo de una formulación para la elaboración de un bollo para hamburguesa a base de harina refinada de trigo complementado con harina integral de amaranto, se utilizará como materia prima, granos de amaranto de la especie (*Amaranthus hypochondriacus L.*), variedad Tulyehualco cosecha 2010 y harina refinada de trigo marca Tres estrellas®; para determinar sus características químicas y su aporte nutritivo en el producto final, se realizará la elaboración de bollos para hamburguesa con las diferentes formulaciones propuestas, determinado su calidad física (peso, volumen y dimensiones), calidad panadera (olor, sabor, color de la costra y textura de la miga); y mediante una prueba sensorial (preferencia), se seleccionará la mejor formulación; a esta formulación se le determinará su calidad nutrimental mediante un análisis químico proximal, cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, Relación de Eficiencia Proteica (PER) y factores anti-nutrimientales (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina).

Finalmente se evaluará el nivel de aceptación por parte del consumidor de la formulación seleccionada mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Trigo

1.1.1 Origen

El trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Iraq (Figura 1). Hace alrededor de 8 milenios, una mutación o una hibridación ocurrieron en el trigo silvestre, dando por resultado una planta con semillas más grandes, la cual no podría haberse diseminado con el viento. Existen hallazgos de restos carbonizados de granos de trigo almidonero (*Triticum dicoccoides*) y huellas de granos en barro cocido en Jarmo (Iraq septentrional), que datan del año 6700 a. C. (SAGARPA, 2011).



Figura 1. Origen del trigo en Mesopotamia

Fuente: Bascón, 2012

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área y están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las

direcciones. Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hace más de 12,000 años eran tipo *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar (Rimache, 2008).

Se dice que el trigo llegó a nuestro país en la época de la conquista (Figura 2), a través de embarcaciones españolas que arribaron con grandes cantidades de trigo, pero la historia lo documenta de otra manera. Como los viajes del viejo mundo a América eran largos, las provisiones se consumían y terminaban antes de llegar a su destino. Al parecer, los viajeros no se preocupaban por guardar algunas semillas para que fueran sembradas en México. Por eso se dice que fue un poco tardía la llegada del trigo a nuestro país. Según relato de los historiadores Andrés de Tapia y Francisco López de Gómora, el negro portugués Juan Garrido, criado de Hernán Cortés fue el primero en sembrar y cosechar el primer trigo en México al encontrar mezclados tres granos en un costal de arroz. Solo germinó uno que dio 180 granos y de esa espiga se hicieron otras siembras que comenzaron a cultivarse en diferentes regiones de la Nueva España (CANIMOLT, 2015).



Figura 2. Origen del trigo en México

Fuente: Fournier *et al.*, 2015

1.1.2 Producción en México

El trigo es el segundo grano de mayor producción a nivel mundial después del maíz. Más del 60 % de la producción mundial es utilizada para alimentación humana y su uso es cada vez más común en países en desarrollo de Asia y Latinoamérica (SAGARPA, 2011).

El cultivo de trigo en México alcanza un valor de 12 mil mdp, cifra que le coloca como el décimo cultivo más importante, al contribuir con el 2.9 % del valor de la producción agrícola (SHCP, 2014).

Para el ciclo 2012/2013 la producción de trigo fue de 3.4 millones de toneladas, 2.5 % más que el año anterior. La caída en la superficie sembrada en los últimos 4 años y la pérdida de las cosechas por sequías o heladas en algunas regiones, ha limitado la producción nacional (6.8 miles de toneladas de trigo aproximadamente) (Figura 3). A nivel regional, los estados con mayores afectaciones en sus cosechas del cereal por efectos climáticos como heladas y sequías, fueron Guanajuato (45 %), Michoacán (29 %), Nuevo León (10 %), Oaxaca (35 %) y San Luis Potosí (60 %), por lo que la producción resultó menor de la esperada (CANIMOLT, 2015).

En México se cultivan principalmente las variedades de trigo cristalino (60 %), suave (25 %) y fuerte (14 %). Variedades que se obtienen casi en su totalidad en la modalidad de riego (95 %), en el ciclo Otoño-Invierno. Los rendimientos oscilan entre 5.0 y 5.7 ton/ha (SHCP, 2014).

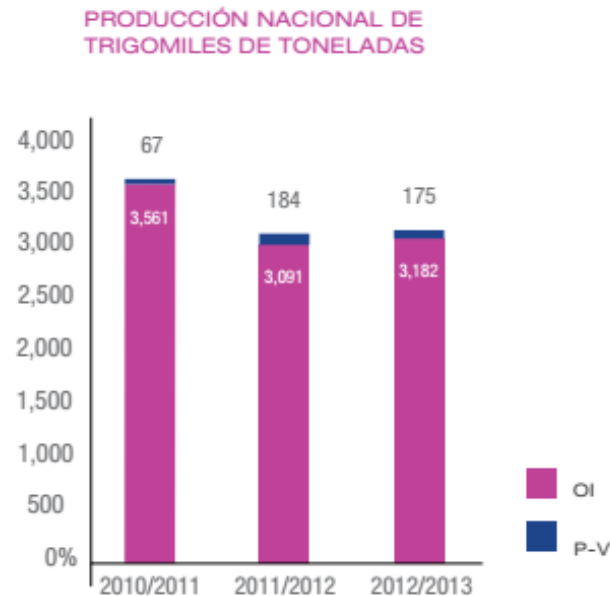


Figura 3. Producción nacional de trigo en México

Fuente: CANIMOLT, 2015

Debido a que la producción de trigos panificables no ha sido suficiente para satisfacer la creciente demanda de harinas de trigo, existe la necesidad de importar un mayor volumen de este grano, con el consecuente aumento del nivel de dependencia alimentaria. La FAO recomienda que el 75 % de los alimentos de un país se produzca localmente, mientras que, en México, para el caso del trigo, es aproximadamente del 50 % de su consumo nacional (CANIMOLT, 2015).

Los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Zacatecas, Tlaxcala, Chihuahua y Jalisco, aportan aproximadamente el 80 % de la superficie cosechada de dicho grano. Más aún, Sonora produce aproximadamente el 62 % de la producción nacional de este grano (Figura 4). El aumento sostenido en la demanda sugiere que el trigo es un grano cada vez más usado y aceptado en la dieta de los mexicanos, además del maíz (SAGARPA, 2011).

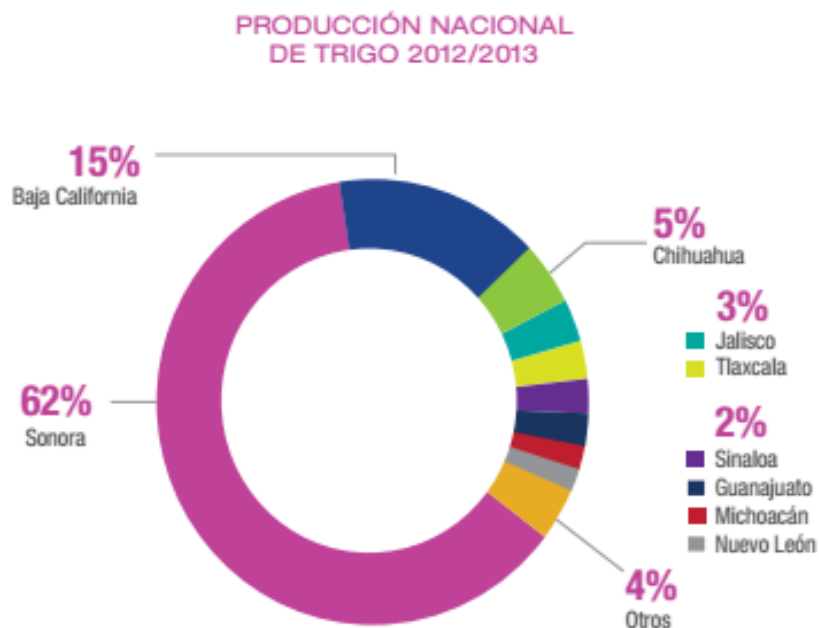


Figura 4. Estados productores de trigo en México

Fuente: CANIMOLT, 2015

1.1.3 Clasificación botánica y características

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), siendo las variedades más cultivadas *Triticum durum* y *T. aestivum*. El trigo harinero hexaploide llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo (InfoAgro, 2015). La forma del grano de trigo es **ovalada con extremos redondeados**, en uno de ellos sobresale el **germen** y en el otro hay un mechón de pelos finos. La altura de la planta varía entre treinta y 150 centímetros y cada planta tiene de cuatro a seis hojas (Figura 5) (SIAP, 2015).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Triticum*

Especie: *T. vulgare*, *T. aestivum*

Nombre científico: *Triticum vulgare* L., *Triticum aestivum* L (Villar, 2015).



Figura 5. Espiga de trigo

Fuente: Roybal, 2012

Desde el inicio de la civilización, el trigo es uno de los cereales más importantes en la alimentación humana. En general no se consume directamente; se usa en la elaboración de alimentos, sobre todo en la industria de la panificación, así como en la fabricación de pastas, galletas, bebidas y hasta en la producción de combustibles. Existen cinco variedades de trigo. Cuatro de ellas pueden utilizarse para la elaboración de pan; el quinto es del tipo cristalino, más utilizado para elaborar pastas (SIAP, 2014).

El trigo está formado por tres partes principales: pericarpio, endospermo y germen (Figura 6), (Juárez *et al.*, 2014).

- El pericarpio que está formado por la epidermis, el epicarpio y el endocarpio; contiene vitaminas, minerales y proteínas. Entre el pericarpio y el endospermo se encuentra la capa de aleurona que cumple un papel muy importante en el desarrollo del embrión durante la germinación.
- El endospermo, por su parte, es el depósito de alimento para el embrión y constituye el 82 % del peso del grano. Está compuesto por almidón, proteínas y en menor proporción celulosas; además tiene una baja proporción de vitaminas y minerales.
- El germen de trigo es rico en vitaminas del grupo B y E, y también contiene grasas, proteínas y minerales.

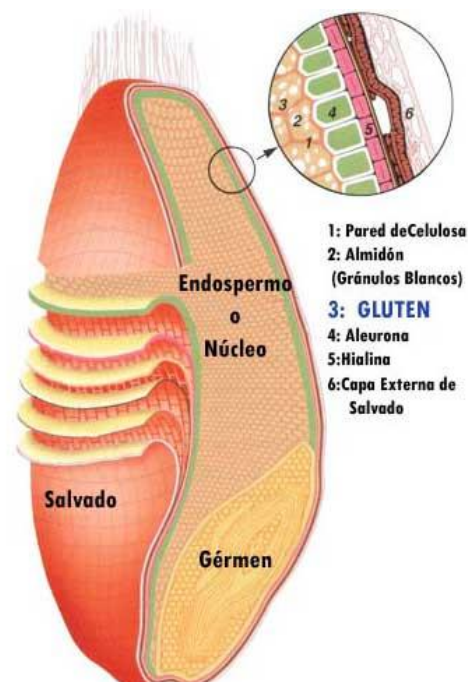


Figura 6. Diagrama esquemático del grano de trigo

Fuente: Villegas, 2015

De entre las distintas características del grano, que condicionan su aptitud cabe destacar: a) la textura del endospermo, relacionada con el comportamiento del grano al molturarse en el

molino; b) contenido en proteína, que influye sobre la aptitud de las harinas para diferentes usos. La textura del endospermo puede ser vítrea o harinosa. Los granos de textura vítrea son traslúcidos y como su nombre indica, al fracturarse los granos los endospermos presentan aspecto de vidrio. Los granos de fractura harinosa son opacos a la luz y al fracturarse muestran endospermos opacos de color blanco, con el aspecto de tiza o yeso (Osca, 2007).

Las variedades de *Triticum durum* suelen tener granos de fractura vítrea, mientras que en muchas variedades de *T. aestivum* y *T. compactum* predominan los granos de fractura harinosa. Los granos de fractura vítrea suelen tener mayor peso específico que los de fractura harinosa, mayor contenido de proteína que los harinosos, suelen ser más duros y en general presentan mejores cualidades para su molturación (Osca, 2007).

1.1.4 Composición química y valor nutrimental

La composición del grano de trigo puede variar de acuerdo a la región, condiciones de cultivo y año de cosecha. También la calidad y cantidad de nutrientes dependen de las especies de los trigos que influirán en sus propiedades nutritivas y funcionales (valor de correlación $N \times 5.83$). 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 (Tabla 1) (Juárez *et al.*, 2014).

Tabla 1. Composición química proximal del grano de trigo entero

Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
12.5	14.0	2.1	2.6	1.9	66.9

Fuente: Murray *et al.*, 2005

Los cereales contienen todos los aminoácidos esenciales, pero presentan deficiencia en algunos de ellos, principalmente la lisina y triptófano (Tabla 2).

El trigo tiene una digestibilidad del 95 % y un valor biológico del 55 %. El coeficiente de eficacia proteica (respecto a un valor de 2.5 para caseína) muestra un valor para el trigo de 1.0 (Hernández, 2010).

Tabla 2. Composición de aminoácidos de la proteína de trigo (g/100 g de proteína)

Aminoácido	%
Histidina	2.0
Isoleucina	4.2
Leucina	6.8
Lisina	2.6
Metionina	3.7
Fenilalanina	8.2
Treonina	2.8
Triptófano	1.2
Valina	4.4

Fuente: Murray *et al.*, 2005

1.1.5 Clasificación industrial

Existen dos clases de trigos los panificables que corresponden a la especie *Triticum aestivum L.* y los trigos no panificables que corresponden al *Triticum durum* (NMX-FF-036-1996).

El trigo panificable (*Triticum aestivum L.*) es el que se utiliza en la elaboración de harinas para pan, galletas, tortillas y otros, el cual se identifica en cuatro grupos de acuerdo a las características de calidad del gluten (NMX-FF-036-1996).

- Grupo 1 (trigos de gluten fuerte): es el que posee las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria mecanizada de la panificación y para mezclas con trigos suaves.

- Grupo 2 (trigos de gluten medio fuerte): es el que posee las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria artesanal y semi-mecanizada de pan, así como para mezclas con trigos suaves.
- Grupo 3 (trigos suaves de gluten débil): es el que posee las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria galletera y para la elaboración de otros productos.
- Grupo 4 (trigos de gluten tenaz): es el que posee poca fuerza y valores de tenacidad altos, aptos para mezclas y en la producción de harinas con diferente potencial de utilización en la industria pastelera, galletera y en otros productos.

1.1.6 Gluten

La calidad panadera del trigo (*Triticum aestivum L.*) es un carácter altamente complejo, dependiente de factores genéticos y ambientales. Está claramente establecido que los principales componentes que determinan la calidad panadera del trigo son las proteínas formadoras de gluten. Estas proteínas, gluteninas y gliadinas, están relacionadas estructuralmente, pero presentan solubilidades diferentes.

Las gliadinas son monómeros que interactúan por fuerzas no covalentes, mientras que las gluteninas son polímeros de alto peso molecular estabilizados por puentes disulfuro. Se considera que las gliadinas les dan extensibilidad y viscosidad a las masas, mientras que las gluteninas le dan elasticidad y fuerza. El gluten constituye del 10 al 14 % de las proteínas del grano (Osca, 2007).

1.1.7 Harina de trigo y clasificación

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. Contiene entre un 65 y un 70 % de

almidones y del 9 al 14 % de proteínas; siendo las más importantes la gliadina y la gluteína, además de contener otros componentes como celulosa, grasas y azúcar (Tabla 3) (CANIMOLT, 2015).

Tabla 3. Composición química proximal de la harina

Harina al 72% de extracción	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra cruda (%)	Fibra dietética (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
	13.5	1.4	0.3	2.8	0.6	82.9

Fuente: Hernández, 2010

La molienda de trigo consiste en separar el endospermo de las otras partes del grano. El trigo entero rinde más del 72 % de harina blanca y el resto es un subproducto. En la molienda, el grano de trigo se somete a diversos tratamientos antes de convertirlo en harina (CANIMOLT, 2015).

Para clasificar las harinas de trigo se utilizan los siguientes valores: (CANIMOLT, 2015).

- W. Es la fuerza que tiene la harina.
- P/L. Índica el equilibrio de la harina y ayuda a saber qué tipo de trabajo panadero es más adecuado para cada harina.
- Valor P. (tenacidad). Es la absorción que tiene la harina sobre el agua.
- Valor L. (extensibilidad). Es la capacidad que tiene la harina para ser estirada cuando se mezcla con agua.
- La absorción es un dato de mucha importancia en panificación y depende de la calidad del gluten.
- Falling Number. Es para medir indirectamente la actividad alfa-amilásica existente en la harina.
- Maltosa. Es el azúcar existente en la harina sobre el que actúa la levadura para producir gas carbónico durante el proceso de fermentación (CANIMOLT, 2015).

Por consiguiente, es necesario relacionar todos los valores y no limitarse a uno solo, ya que puede darse el caso de que dos harinas tengan el mismo W, pero diferente P/L, y por lo tanto su comportamiento en panificación será muy distinto (Tabla 4). Estos valores son medidos mediante una prueba alveográfica, la cual consiste en producir una muestra de masa que, al someterse a una presión de aire, se deforma en una burbuja. Este modo de extensión reproduce la deformación de la masa bajo la influencia del aumento de gas carbónico durante la fermentación.

La prueba incluye 4 etapas principales:

1. Amasado de una mezcla de harina y de agua salada
2. Preparación de cinco amasijos
3. Reposo de la masa
4. Hinchado automático de cada masa hasta la explosión de la burbuja (CANIMOLT, 2015).

Las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas son más fuertes y tenaces, mientras que las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas son más viscosas y extensibles, las harinas con una relación balanceada de gliadinas y gluteninas presentan una fuerza media y son utilizadas para panadería, las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas se utilizan para elaborar pastas y las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas se utilizan para elaborar galletas. Como se observa en los alveogramas de la figura 7 donde se muestra un alveógrafo Chopin y alveogramas típicos (CANIMOLT, 2015).

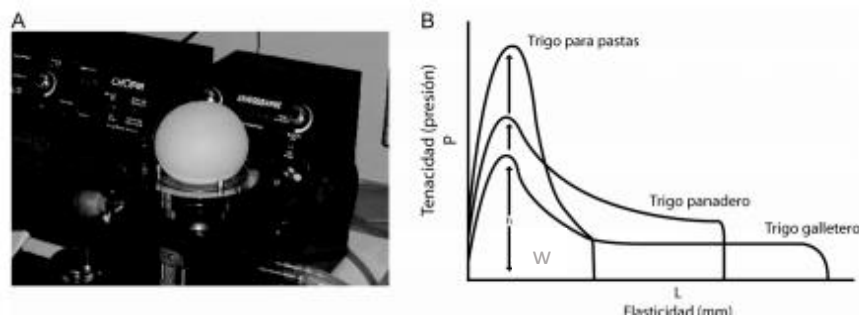


Figura 7. (A) Alveógrafo Chopin y (B) Alveogramas típicos

Fuente: CANIMOLT, 2015

Tabla 4. Características de distintos tipos de harina

Tipo de harina	Características <i>(Nomenclatura descrita pág. 10)</i>	Usos
Extrafina	W= 270-330	Panes y bollería especial
	P/L= 0.9-1.3	
	P= 100-130	
	L= 90-120	
	Gluten seco= 9-12 %	
	Falling Number= 320-380 seg.	
	Índice de Maltosa= 2-2.4	
Fina	W= 180-270	Para panes especiales. Fermentación larga y proceso frío, de bollería y panadería.
	P/L= 0.5-0.7	
	P= 50-90	
	L= 100-120	
	Gluten seco= 0.9-11.5 %	
	Falling Number= 320-380	
	Índice de Maltosa= 1.8-2.2	
Semifina	W= 110-180	Procesos medios y largos de fermentación. Croissant, hojaldres y bizcochos.
	P/L= 0.4-0.6	
	P= 40-65	
	L= 100-120	
	Gluten seco= 8-11 %	
	Falling Number= 27-330 seg.	
	Índice de Maltosa= 1.8-2.2	
Suave (galletera)	W= 80-110	Para panificaciones muy rápidas y muy mecanizadas. Con una fermentación máxima de 90 minutos. También se pueden usar para magdalenas y otros productos.
	P/L= 0.2-0.3	
	P= 30-40	
	L= 60-75	
	Gluten seco= 7-9 %	
	Falling Number= 250-300 seg.	
	Índice de Maltosa= 1.6-1.8	

Fuente: CANIMOLT, 2015

1.2 Generalidades de la panificación

1.2.1 Origen y definición

El pan constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años. Al principio era una pasta plana, no fermentada, elaborada con una masa de granos machacados groseramente y cocida, muy probablemente sobre piedras planas calientes (Mesas *et al.*, 2012).

Parece que fue en Egipto donde apareció el primer pan fermentado (Figura 8), cuando se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire y aumentaba su volumen, y que, añadida a la masa de harina nueva, daba un pan más ligero y de mejor gusto.

Existen bajorrelieves egipcios (3000 años a.C.) sobre la fabricación de pan y cerveza, que sugieren que fue en la civilización egipcia donde se utilizaron por primera vez los métodos bioquímicos de elaboración de estos alimentos fermentados (Mesas *et al.*, 2012).



Figura 8. Origen del pan en Egipto

Fuente: Aproinppa, 2012

La carencia de pan estuvo fuertemente asociada con la caída del Imperio Romano y la iniciación de las revoluciones francesa y Bolchevique. El pan ha sido un producto tan popular, dado que

para su fabricación requiere de utensilios sencillos y para su producción requiere de ingredientes comunes como sal, azúcar y fermento (Serna, 2013).

Definición

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación panaria, como *Saccharomyces cerevisiae* (Mesas *et al.*, 2012).

1.2.2 Procesos de panificación

1.2.2.1 Panificación directa

En este proceso, la harina se mezcla con los otros ingredientes de panificación para formar un lote de masa con su gluten propiamente desarrollado. La misma se divide manual o mecánicamente en porciones de peso equivalente para posteriormente colocarse en gavetas de fermentación con controles de temperatura (25-30°C) y humedad (85 % de humedad relativa). La masa es fermentada por aproximadamente 2 h, prensada, dividida en porciones iguales, moldeadas y fermentadas por última vez de 45-70 min hasta que llegue a una altura determinada. La masa es finalmente horneada por 20-25 min a temperaturas de 200-220°C. La hogaza de pan es enfriada, cortada o rebanada y empacada (Serna, 2013).

1.2.3.2 Sistema de panificación tipo esponja

Sin lugar a dudas es el más popular a nivel industrial. Se le denomina esponja ya que en este proceso parte de la harina (60 %) es mezclada con casi toda el agua y levadura que la formulación requiere. Después de un tiempo de fermentación (4-6 h) la masa luce similar a una esponja. Posteriormente, el resto de la harina con los otros ingredientes (sal, edulcorantes, manteca vegetal, conservadores, etc.) son mezclados con la esponja hasta lograr el desarrollo apropiado del gluten. A esta nueva etapa se le llama industrialmente “refresco”.

Los requerimientos de mezclado y tiempo de fermentación en la planta son significativamente reducidos ya que la esponja está totalmente hidratada y bajo una fuerte actividad de fermentación. El tiempo de fermentación, una vez que la esponja es mezclada con el resto de los ingredientes para producir la masa de refresco, es significativamente reducido a aproximadamente 30-40 min. Posteriormente, la masa es dividida en porciones iguales, fermentada por última vez por 50-65 min antes de pasar a la sección de horneado (Serna, 2013).

1.2.3 Principales productos elaborados

Históricamente, el pan es el alimento mundial por antonomasia. Forma parte de la dieta básica tradicional en Europa, América, Oriente Medio y la India. Encabeza la pirámide de la recientemente galardonada dieta mediterránea como Patrimonio de la Humanidad, ejemplo a seguir de forma saludable de comer (Murcia, 2011).

Se clasifican de acuerdo a su composición en:

- TIPO I: Pan Blanco, Bolillo y Telera
- TIPO II: Pan de Harinas Integrales
- TIPO III: Pan, Productos de Bollería
- TIPO IV: Pan Dulce
- TIPO V: Galletas
- TIPO VI: Pastas secas
- TIPO VII: Pastel
- TIPO VIII: Pay o Tarta (Figura 9)
(NMX-F-516-1992).



Figura 9. Productos de panificación

Fuente: Jaguares, 2015

1.2.4.1 Valor nutricional

Los cereales en sus diversas formas son un componente esencial de la dieta, siendo fuente importante de hidratos de carbono, proteínas, fibra dietética y vitaminas. El consumo de pan y

productos de panadería hechos a base de harina refinada de trigo suele ser la tendencia habitual, sin embargo, esta harina se caracteriza por un limitado valor nutricional (Sanz, 2011).

En los últimos años las investigaciones persiguen mejorar el valor nutritivo del pan de trigo con ingredientes funcionales; por tanto, se está promoviendo el uso de cereales y pseudocereales en granos y harinas integrales, así como la adición de mezclas de diferentes semillas, frutos secos y/o de productos con un elevado aporte de fibra dietética debido a que su presencia se relaciona con la regulación intestinal, incluyendo un aumento de la masa fecal y reducción del tiempo de tránsito intestinal de la misma (Montero *et al.*, 2015).

Los nutrimentos que se encuentran en el grano de cualquier cereal presentan un patrón de distribución dentro de los diferentes componentes del mismo: el endospermo, la cascarilla, el germen, etcétera. Además de una reducción en el tamaño de la partícula, durante la molienda ocurre un cambio en el contenido de carbohidratos, fibra, grasa, minerales, proteínas y vitaminas lo que provoca una disminución en su calidad nutrimental (Rosado *et al.*, 1999). La calidad proteica de un alimento puede mejorarse a través de la combinación de dos o más proteínas de acuerdo al patrón respectivo de aminoácidos esenciales. Este proceso, mediante el cual se elimina o disminuye el déficit de aminoácidos esenciales de una proteína se denomina "Complementación Proteica" (Cutullé *et al.*, 2012).

1.2.4.2 Desnutrición y obesidad en México

En la actualidad, México y Estados Unidos, ocupan los primeros lugares de prevalencia mundial de obesidad en la población adulta (30 %), la cual es diez veces mayor que la de países como Japón y Corea (4 %) (Barrera *et al.*, 2013).

La obesidad tiene un origen multifactorial, en el que se involucran la susceptibilidad genética y los estilos de vida y del entorno, con influencia de diversos determinantes subyacentes, como la globalización, la cultura, la condición económica, la educación, la urbanización y el entorno político y social. En este fenómeno juegan un papel importante tanto el comportamiento individual, como el entorno familiar, comunitario y el ambiente social (Barrera *et al.*, 2013).

La causa fundamental del sobrepeso y la obesidad es un desequilibrio energético entre calorías consumidas y gastadas. En el mundo, se ha producido un aumento en la ingesta de alimentos hipercalóricos (que son ricos en grasa, sal y azúcares, pero pobres en vitaminas, minerales y otros micronutrientes), y un descenso en la actividad física (como resultado de la naturaleza cada vez más sedentaria de muchas formas de trabajo, de los nuevos modos de desplazamiento y de una creciente urbanización) (Barrera *et al.*, 2013).

El estado nutricional es un indicador de la vida, que en zonas rurales y marginadas se presentan con más claridad. Los factores económicos, sociales, disponibilidad de alimentos además de los pocos conocimientos sobre la alimentación y nutrición adecuada de los individuos, conllevan a la necesidad urgente de desarrollar nuevas investigaciones sobre alimentos mejorados proteínicamente para fortalecer la dieta de la población (Montes *et al.*, 2010).

Se ha estimado que alrededor de dos mil millones de personas en el mundo sufren distintas formas de deficiencias nutricionales, especialmente en los países en desarrollo donde la diversidad de la dieta es limitada. Para superar dichas deficiencias y fomentar el consumo de alimentos más saludables, nutritivos y seguros, se han llevado a cabo intervenciones nutricionales, como son el uso de cereales en grano entero y harinas integrales, productos con un elevado aporte de fibra dietética y un alto contenido proteínico (Sanz, 2011).

1.3 Bollos para hamburguesa

1.3.1 Origen y definición

Primero se conseguían en puestos callejeros. Hacia 1950 se instalaron los locales de comida rápida, pensados solo para automovilistas. Algunos años más tarde se abrió la cadena McDonald's, que colocó mesas en sus locales. Hacia 1980 las cadenas de comida rápida se abrían en distintas partes del mundo (FAO, 2015).

Definición

Este tipo de pan es industrialmente producido siguiendo la metodología esponja o en algunos casos el sistema de panificación directa. A diferencia del pan de forma, las fórmulas para este producto son más ricas en edulcorantes y manteca vegetal. Estos cambios son necesarios para prolongar la vida textural y de almacén del producto terminado (Serna, 2013).

Dentro de la clasificación de la norma (NMX-F-516-1992), el bollo para hamburguesa se encuentra en el tipo I (Figura 10), ya que es un pan cocido por horneado de la masa fermentada, elaborada con harina de trigo, agua potable, sal yodatada, azúcar, levadura, ingredientes opcionales y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud.



Figura 10. Pan para hamburguesa

Fuente: Pan casero, 2015

1.3.2 Principales ingredientes en su elaboración

1.3.2.1 Harina de trigo

La harina es el material más importante en todo producto de panificación ya que afecta la funcionalidad y las características del producto terminado, dictamina parámetros de procesamiento y requerimientos de algunos otros ingredientes (Serna, 2013).

1.3.2.2 Levadura

La levadura es un producto de la familia de los hongos, que representa un papel crucial en los procesos fermentativos, como el requerido en la panificación. Según el contenido de humedad en la elaboración las levaduras se clasifican en:

- Levadura fresca o prensada. Es la que contiene intramolecularmente un 70 % de humedad y un 30% de sólidos. Su vida útil es de dos semanas y debe almacenarse refrigerada.
- Levadura seca. Es la que contiene aproximadamente 10 % de humedad intramolecularmente y, en consecuencia, un 90 % de sólidos. Es la misma levadura fresca que se ha deshidratado. Su vida útil es de 6 meses y no es imprescindible su refrigeración.
- Levadura instantánea. Es la que contiene un 5 % de humedad. Su vida útil, envasada al vacío, es de 2 años. No requiere refrigeración para su mantenimiento (Lezcano, 2015).

1.3.2.3 Agua

El agua, cuando se añade a la harina, tiene como misión activar las proteínas de la harina para que la masa sea más blanda y maleable. La proporción de agua empleada en la elaboración del pan condiciona la consistencia final de la masa y afecta a las cualidades del pan y a su resultado final. El agua puede representar entre un 45 % y un 80 % para el caso de los panes más artesanos (Murcia, 2011).

1.3.2.4 Leche

Las formulaciones para pan de mesa generalmente contienen pequeñas cantidades de leche en polvo descremada (1-3.5 % basado en el peso de harina). La leche en polvo incrementa ligeramente la tasa de absorción de agua, mejora significativamente el color de la costra del pan (color más dorado) e imparte un sabor más agradable. Es importante mencionar que la levadura

no tiene capacidad de desdoblar al carbohidrato de la leche, lactosa, por lo que el disacárido contribuye a impartir un color más deseable en la costra del pan (Serna, 2013).

1.3.2.5 Azúcar

El azúcar tiene tres funciones básicas: impartir sabor y color y ser el principal sustrato regulador de la levadura. Los azúcares más utilizados son la sacarosa, edulcorantes invertidos y el jarabe de maíz. Estos carbohidratos imparten sabor al pan directa e indirectamente. Este último fenómeno debido a que la levadura produce un gran número de agentes saborizantes resultantes de la fermentación. Los azúcares son también responsables por el desarrollo del color típico del pan vía reacciones de Maillard o de encafecimiento no enzimático, una vez que son expuestos a las altas temperaturas del horno (Serna, 2013).

1.3.2.6 Sal

La sal, cuando se emplea, refuerza los sabores y aromas del propio pan y afecta a la textura final de la masa. En general, la sal representa un 2 % del peso de la harina, generalmente son sales no refinadas como la sal ahumada, la negra y la gorda. Contribuye a la formación del color marrón de la corteza del pan, ya que retarda la fermentación y genera mayores azúcares que dan este color. El uso de la sal, con su efecto fungicida, alarga la vida del pan, aunque su uso en los panes artesanos se restringe o se elimina (Murcia, 2011).

1.3.2.7 Huevo

Los huevos otorgan una especial característica a los panes: su esponjosidad; por lo tanto, mejoran su volumen debido a la expansión natural que presentan los huevos ante el calor. Además, la proteína del huevo (albúmina) es útil al usar harinas débiles. También el huevo funciona como aglutinante que ayuda durante la fase de mezclado de la masa, aporta sabor y, cuando se usa en grandes cantidades, genera un color amarillento. El valor nutritivo del huevo es importante a la hora de consumir pan. Los huevos son muy usados en la panadería como abrillantador natural (Bakery, 2015).

1.3.2.8 Mejorante

La función que cumplen los mejorantes es la de reforzar las características de la harina, para que la masa resultante pueda ser manipulada en un proceso mecanizado. Así, la masa tendrá una buena capacidad de producción y retención de gas. Para que la masa mantenga una buena estabilidad, a la par que un buen desarrollo, la aportación de un mejorante es una contribución valiosa (Tejero, 2013).

1.3.2.9 Grasa

Actúan como agente lubricante mejorando el comportamiento de la masa durante el mezclado, disminuyendo principalmente el problema de pegosidad. Sin embargo, su principal función es mejorar la textura del pan produciendo una miga más suave, esto se debe a que el emulsificante forma pequeñas películas entre la red del gluten y los otros constituyentes interfiriendo con el fenómeno de retrogradación del almidón, el cual está asociado con la pérdida progresiva de textura del pan (Serna, 2013).

1.3.3 Composición química

Composición química del bollo para hamburguesa (Tabla 5).

Tabla 5. Composición química de pan de molde bimbollo Bimbo (100 g de porción comestible)

Componente	%
Humedad	35
Proteína	5.96
Grasa	3.89
Fibra cruda	3.22
Carbohidratos	54.63
Sodio	0.29
Potasio	0.12

Fuente: Mataix, 2003

Tabla 5. Composición química de pan de molde bimbollo Bimbo (100 g de porción comestible)
(continuación)

Componente	%
Calcio	0.02
Magnesio	0.03
Fósforo	0.11
Hierro	0.002
Zinc	0.001

Fuente: Mataix, 2003

1.3.4 Producción en México

La producción en volumen como la producción en valor de bollos para hamburguesa en México, en los últimos años se ha tenido un aumento; en el 2015 se tiene una producción en volumen de 5,738 toneladas y producción en valor de 185,706 millones pesos mexicanos (Figura 11 y 12).

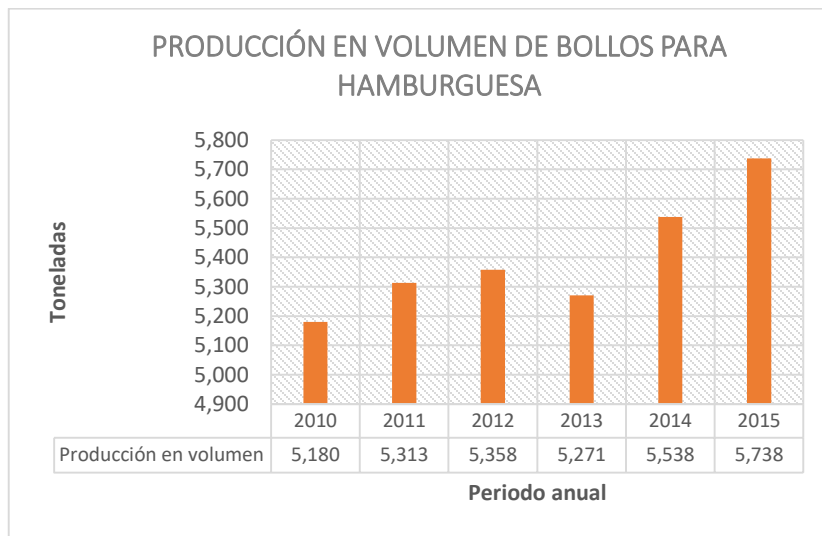


Figura 11. Producción en volumen anual de bollos para hamburguesa

Fuente: INEGI, 2015

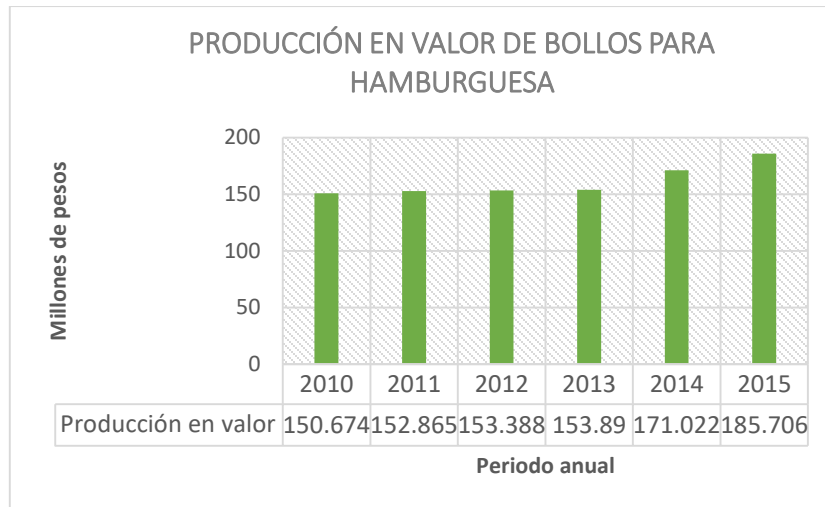


Figura 12. Producción en valor anual de bollos para hamburguesa

Fuente: INEGI, 2015

1.4 Amaranto

1.4.1 Origen

La palabra «amaranto» viene del griego y significa «eterno, perdurable». Desde tiempos muy antiguos, los granos de amaranto (*Amaranthus* spp.) han logrado formar parte de los cultivos básicos en las Américas, logrando persistir hasta la fecha como parte de la agricultura tradicional en México (Sánchez, 2010).

El amaranto se cultiva en América desde hace unos 5.000 años. La primera civilización en explotarlo como un cultivo altamente productivo fue la maya, de quienes los incas y aztecas aprendieron su cultivo y consumo (Dyner *et al.*, 2007).

Representó junto con el maíz, el frijón y la chía uno de los principales productos para la alimentación de las culturas precolombinas de América. Para los mayas quienes fueron los primeros en usarlo lo llamaban "xtes" y lo utilizaban como cultivo de alto rendimiento, apreciado especialmente por su valor alimenticio (Sánchez, 2010).

Los aztecas lo conocían como "huautli" y lo ligaban con sus ritos religiosos (Club planeta, 2015). Las mejores evidencias acerca de la identidad del *huautli* en la literatura son los dibujos en los escritos del siglo XVI (Figura, 13) (Sánchez, 2010).

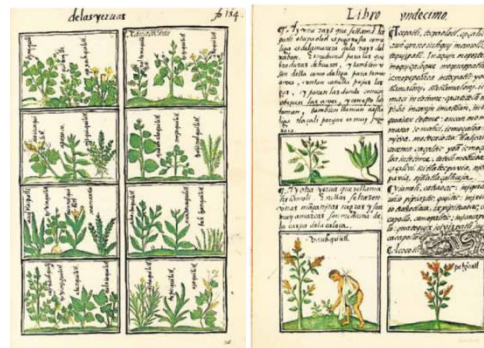


Figura 13. Códice Florentino de las yerbas que se comen y cosecha de la alegría

Fuente: Sánchez, 2010

Con las flores del amaranto se adornaban las tumbas pues las de cualquier especie duran mucho tiempo después de haber sido cortadas, no pierden el color, de hecho, asumen un aspecto más delicado y bonito que cuando están vivas, es por ello que también se le conoce como la "planta inmarcesible" que simbolizaba la inmortalidad (Dyner *et al.*, 2007).

A la llegada de los españoles a América y durante la Conquista, el amaranto fue eliminado de la dieta indígena por razones religiosas y políticas ya que prohibieron su cultivo y consumo por considerarla "pagana". Algunos estudiosos sostienen que se trató de una estrategia militar para mantener a la población débil y conquistarla más fácilmente, pues el amaranto era un alimento de guerreros (Dyner *et al.*, 2007).

Se estima que cuando los españoles llegaron a América la producción anual de granos de amaranto superaba las 15.000 toneladas y además formaba parte de los tributos que estos imperios cobraban a los pueblos sometidos (Dyner *et al.*, 2007).

Afortunadamente en los lugares más apartados de la conquista española se mantuvo su producción (Club planeta, 2015).

1.4.2 Producción en México

En México las zonas de producción y cultivo del amaranto no han cambiado, se sigue llevando a cabo en el mismo lugar que en la época precolombina (Club planeta, 2015).

En nuestro país, el estado de Puebla es el mayor productor de amaranto, con el 51 % de la producción total nacional. Le sigue Morelos, Tlaxcala, el Distrito Federal, el Estado de México y Guanajuato con el 22 %, 18 %, 9 %, 6 % y 2 % respectivamente (Club planeta, 2015).

En la actualidad, existe un renovado interés en su cultivo debido al potencial que presenta en la elaboración de nuevos productos alimenticios, sus beneficios nutricionales y sus ventajas agrícolas (Figura 14) (Sánchez, 2010).

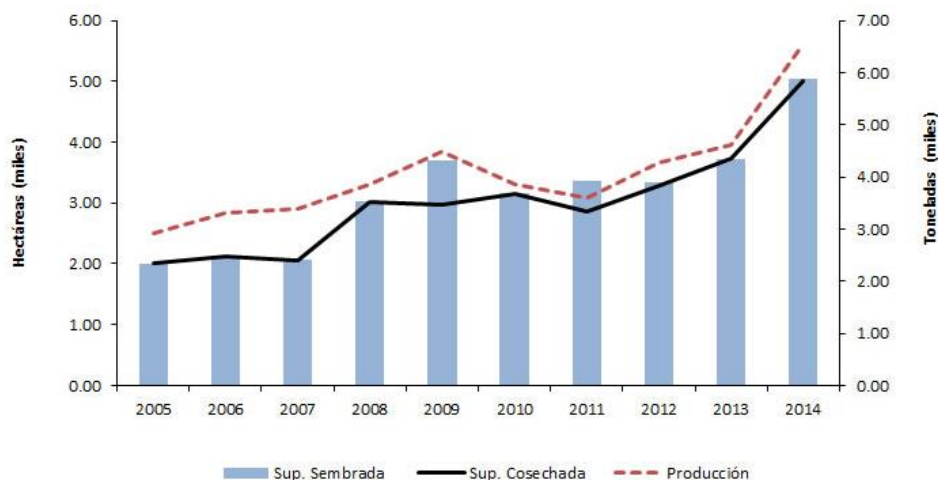


Figura 14. Producción de amaranto en México

Fuente: SINAREFI, 2015

1.4.3 Clasificación botánica y características

Pertenece a un grupo de granos considerados como pseudocereales ya que tiene propiedades similares a las de los cereales, pero botánicamente no pertenece a esa familia.

El género *Amaranthus* incluye más de 60 especies que se cultivan en varias partes del mundo, como América Central y del Sur, India, África y China (Sanz *et al.*, 2013). Las más aprovechadas por el ser humano son: (*Amaranthus caudatus*, *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus*).

El amaranto pertenece a la familia *Amaranthaceae*, un género de hierbas (Figura 15). Una sola mata puede producir más de 100,000 semillas (Ortega, 2012).

Reino: Plantae

División: Fenerógama

Clase: Dicotiledoneae

Subclase: Archyclamidae

Orden: Centrospermales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Amaranthus*

Especie: *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus cruentus*
y *Amaranthus hypochondriacus* (Salas, 2010).



Figura 15. Planta de amaranto

Fuente: White, 2015

El embrión de la semilla es campylotropous, es decir, circular, con sus extremos que encierra el perisperma. Por consiguiente, el embrión es grande y representa alrededor del 25 % del peso del grano. La cubierta de la semilla es completamente lisa y fina.

La cubierta de la semilla y el embrión en conjunto constituyen el 26 % de la semilla (Figura 16) (Murray *et al.*, 2005).

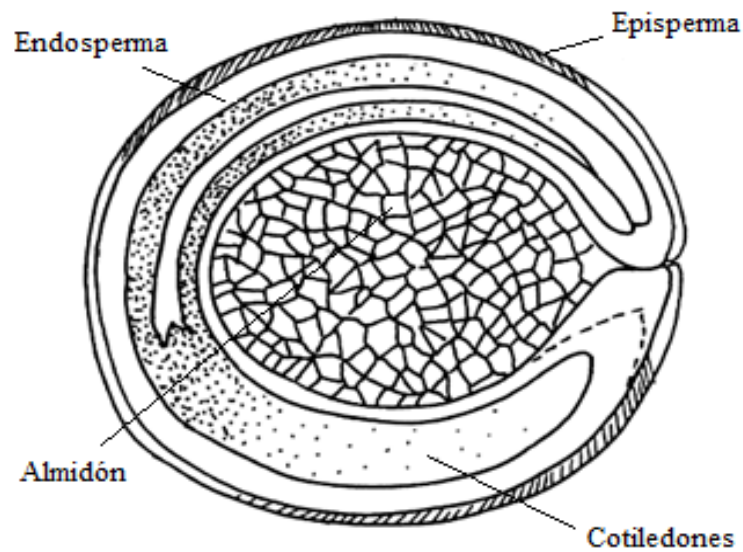


Figura 16. Corte longitudinal del grano de amaranto a. cubierta (episperma), b. endosperma, c. embrión (cotiledones), d. perisperma (almidón)

Fuente: Nieto, 1989

El amaranto es un cultivo anual, altamente eficiente y de rápido crecimiento, que puede desarrollarse entre 0 a 3.300 metros sobre el nivel del mar y prosperar en condiciones agronómicas adversas (sequía, altas y bajas temperaturas, suelos salinos, ácidos o alcalinos), adaptándose fácilmente a distintos ambientes.

Con un contenido de proteínas cercano al 16 %, el grano de amaranto se compara muy favorablemente con el trigo (12-14 %), arroz (7-10 %), maíz (9-10 %) y otros cereales de consumo habitual. Su proteína es excepcional en cuanto a su calidad por su alto contenido de lisina y, por lo tanto, un complemento nutricional óptimo para los cereales convencionales deficientes en ese aminoácido (Dyner *et al.*, 2007).

Las semillas son extremadamente pequeños, apenas más grande que las semillas de mostaza (0.9-1.7 mm de diámetro) y 30-70 veces más pequeña que un grano típico de trigo y varían en color de crema, negro, marrón, amarillo o blanco (Murray *et al.*, 2005).

1.4.5 Composición química y valor nutrimental

En años recientes el amaranto ha sido ampliamente estudiado, siendo una de las razones para ello su excelente composición nutricional, comparable con los cereales tiene un alto valor nutricional asociado a la presencia de una alta concentración de proteínas y minerales; especialmente Ca, Mg y Fe; presenta un alto contenido de fibra, así como compuestos bioactivos tales como saponinas, fitoesteroles, escualeno y polifenoles (Montero *et al.*, 2015)

La calidad nutricional de las semillas de amaranto es mayor que de la mayoría de los granos de cereales (Tabla 6), debido a su alto contenido en proteínas, y a su contenido y composición de aminoácidos esenciales (valor de correlación $N \times 5.87$) (Sanz *et al.*, 2013).

Tabla 6. Comparación de contenido de proteínas del amaranto con otros cereales

Cultivo	Proteína (%)
Amaranto	16.6
Trigo	14.0
Maíz	10.3
Arroz	8.5

Fuente: Murray *et al.*, 2005

El contenido total de minerales es generalmente superior, especialmente calcio y magnesio, y se caracteriza por un mayor contenido de fibra dietética y lípidos (Tabla 7) (Sanz *et al.*, 2013).

Tabla 7. Composición química proximal del amaranto

Especie	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
<i>A. caudatus</i>	9.5-11.6	17.6-18.4	6.9-8.1	3.2-5.8	3.1-4.4	59.6-62.8
<i>A. cruentus</i>	6.2-8.8	13.2-18.2	6.3-8.1	3.6-4.4	2.8-3.9	60.7-62.6
<i>A. hypochondriacus</i>	11.1	17.9	7.7	2.2	4.1	57.0

Fuente: Murray *et al.*, 2005

Sus proteínas tienen mejor calidad que las proteínas de cereales tan comunes como el trigo y el arroz. Su calidad se asemeja incluso a proteínas de origen animal como las de leche de vaca y huevo de gallina; además sus proteínas poseen un alto grado de digestibilidad.

Las proteínas de amaranto están constituidas principalmente por albúminas que conforman alrededor del 49 al 65 % del total, seguidas en abundancia por las glutelinas, 22.4 al 42.3 %, las globulinas, 13.7 al 18.1 % y finalmente las prolaminas que conforman del 1 al 3.2 % del total de las proteínas (Terán *et al.*, 2015).

Según criterios de la FAO, la OMS y otras instituciones internacionales, se considera al amaranto como un alimento de excelente calidad proteica, ya que se asemeja a la proteína ideal propuesta por la FAO y con una digestibilidad similar a la del pan blanco. Además de disminuir el colesterol y los triglicéridos, mejora el metabolismo de la glucosa y de los lípidos y aumentar la concentración de Ca y P en los huesos (Contreras *et al.*, 2011). En particular, el aminoácido esencial lisina, el cual se encuentra en baja cantidad en las proteínas de los cereales (Tabla 8), en el amaranto se presenta en cantidades mayores con respecto a la que presentan estos granos. Como resultado de esto, el amaranto puede ser usado para complementar alimentos elaborados con maíz, trigo y arroz (Sánchez, 2010).

Tabla 8. Contenido de aminoácidos en g/100 g de proteína

Aminoácido	%
Histidina	2.6
Isoleucina	3.7
Leucina	5.4
Lisina	5.3
Metionina	2.3
Fenilalanina	3.6
Treonina	3.5
Triptófano	1.5
Valina	4.3

Fuente: Murray *et al.*, 2005

El precio comercial del grano de amaranto, en los últimos años, es dos veces más alto que el maíz, una más que el frijol y tres veces más que el trigo. El rendimiento por hectárea oscila entre 1.0 y 2.0 ton, (sin riego), permitiendo asegurar al campesino un aumento en la rentabilidad de la tierra en un 100 a 200 %. El elevado precio comercial del amaranto se debe a su alto nivel proteico, a sus facultades energizantes, a su resistencia a sequías (baja demanda de humedad), adaptabilidad a diversas zonas de producción, más su uso potencial y aplicaciones (Ortega, 2012).

1.4.6 Harina integral de amaranto

Durante los últimos años se ha comprobado a través de técnicas modernas, la calidad y el alto valor nutritivo del amaranto. La composición química de la harina de amaranto presenta un alto contenido de proteínas (Tabla 9) (Mosquera *et al.*, 2012).

Tabla 9. Composición química proximal de harina integral de amaranto

Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
10.1	17.8	3.2	5.1	2.1	61.7

Fuente: Mosquera *et al.*, 2012

De acuerdo con estudios de molienda, se ha indicado que la fracción física tegumento más germen representa entre 20.8 y 26.7 % del peso del grano, similar al que se obtiene de la molienda del trigo (Boucher *et al.*, 1995)

1.5 Factores anti-nutrimientales

El término anti-nutrientes se utiliza para calificar a aquellos compuestos que afectan el valor nutricional de algunos alimentos, especialmente semillas, pues 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 (Elizalde *et al.*, 2009).

1.5.1 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 *et al.*, 2009).

1.5.2 Ácido fítico

Desde el punto de vista nutricional, el interés del ácido fítico se debe principalmente a su capacidad de formar complejos con minerales esenciales (Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca), lo que disminuye la absorción intestinal y la biodisponibilidad de estos minerales para el hombre; debido a que estos no están provistos de suficiente actividad de fosfatasas endógenas (fitasas) que sean capaces de liberar los minerales de la estructura del fitato. Sin embargo, se ha demostrado que, durante el procesamiento de los alimentos y la digestión, la cantidad final de ácido fítico disminuye significativamente como consecuencia de su hidrólisis enzimática o química. En el amaranto se encuentra en una proporción aproximada de 0.34 % a 0.61 % (Elizalde *et al.*, 2009).

Sin embargo, el consumo de fitatos no solamente tiene efectos negativos sobre la salud humana; algunos trabajos recientes muestran que las formas menos fosforiladas favorecen la absorción intestinal de minerales; disminuyen el índice glicémico pues inhiben la acción de las amilasas; quelan radicales 3^+ 2^+ de Fe y Zn por lo que previenen el cáncer de colon; actúan además como antioxidantes pues inhiben la peroxidasa y previenen la formación de cálculos renales pues se reduce la formación de cristales de hidroxiapatita. El ácido fítico también tiene efectos positivos

en la reducción del colesterol sérico y los triglicéridos, la supresión de la oxidación mediada por el hierro y la prevención de algunos tipos de cáncer (Elizalde *et al.*, 2009).

1.5.3 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; los más conocidos son los que reaccionan con proteasas de serina, como la tripsina y la quimotripsina. 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 *et al.*, 2009).

En base a la información anterior, el bollo para hamburguesa resulta ser un producto de alta demanda, ya que actualmente en México, ha aumentado su producción y por lo tanto su consumo; pero al elaborarse tradicionalmente con harina refinada de trigo presenta una baja calidad nutrimental, por lo que se busca complementar con amaranto, debido a sus cualidades nutrimentales ya mencionadas anteriormente.

Por lo tanto, en este proyecto se planteó la elaboración de un bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto, mejorando con ello su calidad nutrimental.

CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Desarrollar una formulación a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) para la elaboración de un bollo para hamburguesa mejorando su calidad nutrimental.

2.1.1.1 Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Determinar la composición química de la harina refinada de trigo y harina integral de amaranto por medio de un análisis químico proximal para comparar su aporte químico en el producto final.

Objetivo particular 2

Evaluar diferentes formulaciones con mezclas de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto por medio de pruebas de calidad física (volumen, peso, ancho, altura), calidad panadera (olor, sabor, color de la costra, textura de la miga) y sensorial (prueba de preferencia) de bollos para hamburguesa seleccionando la mejor formulación.

Objetivo particular 3

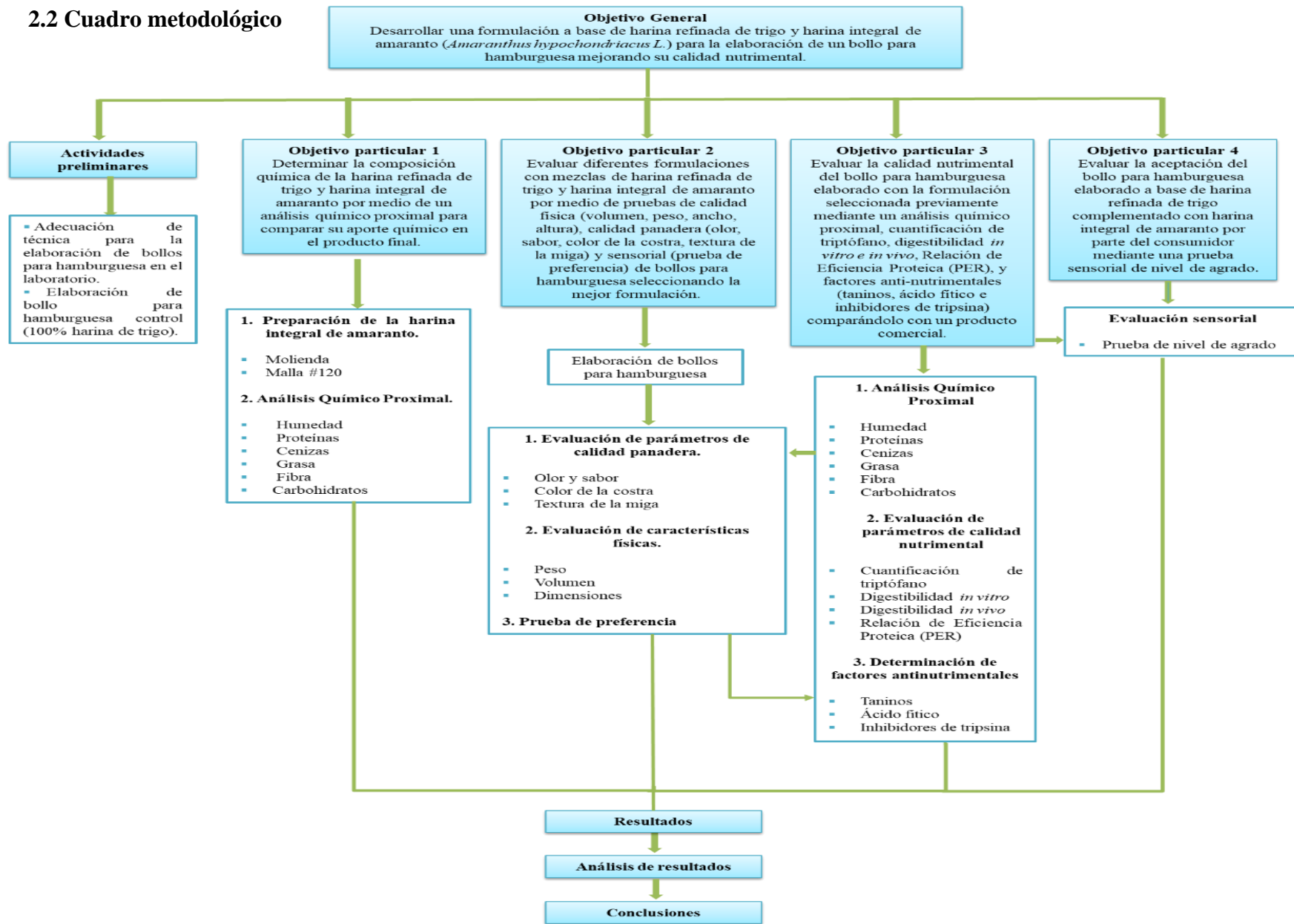
Evaluar la calidad nutrimental del bollo para hamburguesa elaborado con la formulación seleccionada previamente mediante un análisis químico proximal, cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, Relación de Eficiencia Proteica (PER), y factores anti-

nutrimientales (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina) comparándolo con un producto comercial.

Objetivo particular 4

Evaluar la aceptación del bollo para hamburguesa elaborado a base de harina refinada de trigo complementado con harina integral de amaranto por parte del consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.

2.2 Cuadro metodológico



2.3 Metodología

2.3.1 Material biológico

Para el desarrollo de este proyecto fue utilizada semilla de amaranto de la especie (*Amaranthus hypochondriacus L.*), variedad Tulyehualco cosecha 2010 y harina refinada de trigo marca Tres estrellas®, adquirida en un centro comercial.

2.3.2 Preparación de la muestra

La semilla de amaranto fue molida en un molino de martillos para la reducción de tamaño de partícula con una malla #120 USA serie Tyler en Molinera de México, esta harina fue utilizada para el análisis y la elaboración del producto con las formulaciones propuestas.

Tanto la harina de amaranto como la harina de trigo fueron almacenadas en frascos de vidrio a temperatura de refrigeración hasta su utilización.

2.3.3 Análisis Químico Proximal

Se llevó a cabo el análisis químico proximal de la materia prima: harina integral de amaranto y harina de trigo marca Tres estrellas®, realizando las pruebas de humedad, grasa, proteína, cenizas, fibra y carbohidratos por diferencia, siguiendo los métodos de la A.O.A.C. (2005).

2.3.3.1 Determinación de humedad (925.09, A.O.A.C.)

Método o técnica: Estufa

El contenido de humedad se determinó por el método de secado por estufa, el cual se basa en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 130°C hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

$$\%Humedad = \left[\frac{W_2 - W_3}{W_1} \right] * 100$$

Donde:

W₁: Peso de la muestra (g)

W₂: Peso de la muestra húmeda (g)

W₃: Peso de la muestra seca (g)

2.3.3.2 Determinación de grasa (920.39, A.O.A.C.)

Método o técnica: Soxhlet

El contenido de grasa se determinó por el método de Soxhlet; se lleva a cabo mediante la extracción continua con éter etílico previamente desecado, obteniéndose el total de grasa tras la evaporación del solvente. El resultado se expresó como porcentaje de grasa.

$$\%Grasa\ extraible = \left[\frac{W_3 - W_2}{W_1} \right] * 100$$

Donde:

W₁: Peso de la muestra (g)

W₂: Peso del matraz sin grasa (g)

W₃: Peso del matraz con grasa (g)

2.3.3.3 Determinación de proteínas (954.01, A.O.A.C.)

Método o técnica: Micro Kjeldahl

El contenido de proteína se determinó por el método micro Kjeldahl; el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos para convertir el nitrógeno orgánico en iones de amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali y se destila hacia una solución de ácido bórico. El destilado se titula con ácido clorhídrico. El resultado se expresó como porcentaje de proteína.

$$\% \text{Proteína cruda} = \text{Nitrogeno total} * (F)$$

$$\text{Nitrogeno total} = [(V_2 - V_1)(N)(0.014)/W] * 100$$

Donde:

V₁: Volumen de HCl gastado en la muestra (ml)

V₂: Volumen de HCl gastado en el blanco (ml)

N: Normalidad del HCl (0.1)

W: Peso de la muestra (g)

F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína (trigo 5.83 y amaranto 5.87)

2.3.3.4 Determinación de cenizas (923.03, A.O.A.C.)

Método o técnica: Incineración directa

El contenido de cenizas se determinó por el método de incineración directa; el cual se basa en la obtención de la materia orgánica, la cual se quema a la temperatura más baja posible y la materia inorgánica remanente se enfría y pesa. El calentamiento se realiza en etapas primero para eliminar el agua, a continuación, para carbonizar el producto totalmente y finalmente, para incinerar en horno de mufla a 550 °C. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales.

$$\% \text{Cenizas totales} = \left[\frac{W_3 - W_2}{W_1} \right] * 100$$

Donde:

W₁: Peso de la muestra (g)

W₂: Peso del crisol sin muestra (g)

W₃: Peso del crisol con cenizas (g)

2.3.3.5 Determinación de fibra (989.03, A.O.A.C.)

Método o técnica: Fibra cruda

El método consiste en someter la muestra seca y desengrasada a una primera digestión ácida, posteriormente a una segunda alcalina obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con

calcinación posterior se determina la fibra cruda. El resultado se expresó como porcentaje de fibra cruda.

$$\%Fibra\ cruda = [(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)/W_5] * 100$$

Donde:

W₁: Peso del papel filtro (g)

W₂: Peso del papel filtro con residuos secos (g)

W₃: Peso del crisol vacío (g)

W₄: Peso del crisol después de la incineración (g)

W₅: Peso de la muestra previamente desengrasada (g)

2.3.3.6 Determinación de carbohidratos

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia de los demás componentes.

$$\%Carbohidratos = 100 - (Proteínas + Humedad + Grasas + Fibra + Cenizas)$$

2.3.4 Elaboración de bollo para hamburguesa

La elaboración de bollos para hamburguesa se basó en la formulación mostrada en la Tabla 10.

La cual fue previamente modificada por el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, antes de ser utilizada para este proyecto.

Tabla 10. Formulación base de harina refinada de trigo para elaborar bollos para hamburguesa

Ingrediente	%
Harina de trigo	60.61
Leche entera fría	18.48
Agua	12.32

Fuente: Sebess, 2014

Tabla 10. Formulación base de harina refinada de trigo para elaborar bollos para hamburguesa
(continuación)

Ingrediente	%
Huevo	5.2
Aceite	3.08
Levadura	2.56
Azúcar	2.46
Sal	1.23
Mejorante	0.24

Fuente: Sebess, 2014

Con base a la formulación (Tabla 10) se propusieron las siguientes formulaciones, mezclando harina de trigo y amaranto para la elaboración de bollos más nutritivos manteniendo constante la cantidad del resto de los ingredientes (leche entera fría, agua, huevo, aceite, levadura, azúcar, sal y mejorante) (Tabla 11).

Tabla 11. Formulaciones propuestas para elaborar bollos para hamburguesa a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto

Formulación	Harina de trigo (%)	Harina de amaranto (%)
1	80	20
2	70	30
3	60	40

Pero debido a las pobres características funcionales del grano de amaranto (menor poder de hinchamiento, mayor solubilidad en agua, una capacidad de absorción de agua superior que el almidón de trigo, provocando mayor dureza), se tuvieron problemas con la corteza del bollo al aumentar la cantidad de harina de este grano, por lo tanto, fueron modificadas las formulaciones agregando 10 % de gluten de trigo [en proyectos previos (Cabrera, 2007; Torres, 2014; Díaz, 2014 y Cruz, 2015) se determinó esta cantidad como la más viable para la elaboración de productos a base de harina integral de amaranto]. Por lo tanto, se propusieron las siguientes formulaciones (Tabla 12).

Tabla 12. Formulaciones propuestas para elaborar bollos para hamburguesa a base de harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten de trigo

Formulación	Harina de trigo (%)	Harina de amaranto (%)	Gluten de trigo (%)
1	70	20	10
2	60	30	10
3	50	40	10
4	40	50	10

Una vez propuestas las formulaciones se procedió a la elaboración de bollos para hamburguesa de acuerdo al diagrama de proceso mostrado en la Figura 17.

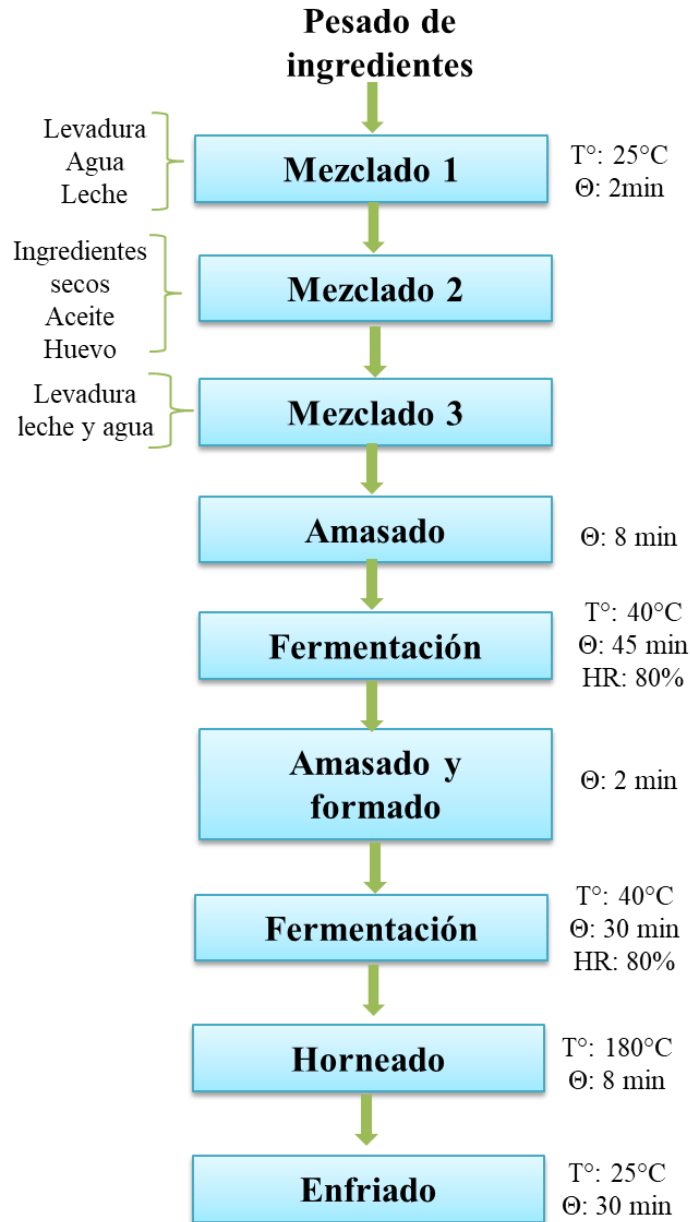


Figura 17. Diagrama de procesos para elaboración de bollos para hamburguesa

Para la elaboración de bollos para hamburguesa se utilizó el método de panificación tipo esponja. Se pesaron todos los ingredientes en una balanza analítica Sartorius Type 1872, posteriormente se realizó el primer mezclado (levadura con agua y un poco de leche) a temperatura ambiente durante aproximadamente 2 minutos, se prosiguió al segundo mezclado en la batidora Hamilton Beach 63221, (harina de trigo, azúcar, sal, huevo, mejorante y aceite) durante 15 segundos, se detuvo la batidora, y se agregó la levadura previamente activada, para

que en el tercer mezclado se adicionará el resto de agua y leche, el amasado se realizó durante 8 minutos, la masa obtenida se colocó en una fermentadora ROBOT COOL INC., con una humedad relativa del 80 %, a una temperatura de 40°C durante 45 minutos, al término se realizó el amasado y el formado de la masa en bollos para hamburguesa; cortándola en porciones de 95 gramos, se colocó de nuevo en la fermentadora ROBOT COOL INC., a las mismas condiciones (HR: 80 %, T: 40°C) durante 30 minutos, se horneó en un horno convencional ROBOT COOL INC., a una temperatura de 180°C durante 8 minutos y finalmente se enfriaron durante 30 minutos a temperatura ambiente. El tiempo de elaboración es de 2 a 2 horas con 10 minutos aproximadamente.

2.3.5 Parámetros de calidad física de bollo para hamburguesa

Para la determinación de la calidad física de los bollos elaborados con las diferentes formulaciones comparadas con un bollo control y un bollo comercial, se realizaron las siguientes pruebas: peso, volumen y dimensiones.

2.3.5.1 Peso

El peso de los bollos para hamburguesa se determinó utilizando una balanza granataria Tor Rey L-EQ (Figura 18).



Figura 18. Balanza granataria Tor Rey L-EQ

2.3.5.2 Volumen

El volumen de los bollos se determinó por desplazamiento de semillas de baja densidad (nabo) conocido como “panvolumenómetro” (Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición, 2015). El medidor de volumen cuenta con dos recipientes unidos por una probeta (Figura 19).



Figura 19. Medidor de volumen (panvolumenómetro)

El bollo se colocó en el recipiente de la parte superior y se giró 180°, por lo que las semillas de nabo caen por gravedad llenando el recipiente donde se encuentra el bollo, pero una parte de las semillas queda fuera y su volumen se mide directamente en la probeta, siendo éste el volumen del bollo. Una vez obtenido el volumen se evaluó en base a la caracterización de procesos de panificación establecidos por el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, ubicado en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán; ya que no se cuenta con parámetros expedidos por una norma oficial (Figura 20).

VOLUMEN DEL PAN PARA HAMBURGUESA		
CALIFICACIÓN	cm ³	INTERPRETACIÓN
5	310-300	Excelente
4	300-290	Bueno
3	290-280	Regular
2	280-270	Malo
1	270-260	Pésimo

Figura 20. Escala de evaluación de volumen del pan para hamburguesa

El volumen específico (cm³/g), es referido como la medición del volumen final alcanzado por la hogaza después del horneado, en relación con el peso de la pieza. Para su determinación se divide el volumen del pan obtenido en el panvolumenómetro entre el peso de la pieza del pan (Yépez, 2013).

$$\frac{\text{Volumen del pan}}{\text{Peso del pan}} = \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \right]$$

2.3.5.3 Dimensiones

Las dimensiones del bollo fueron medidas con un vernier Mitutoyo 505-626-50, (Figura 21), se midió el ancho y la altura (Figura 22) por triplicado para cada uno de los bollos elaborados.



Figura 21. Vernier Mitutoyo

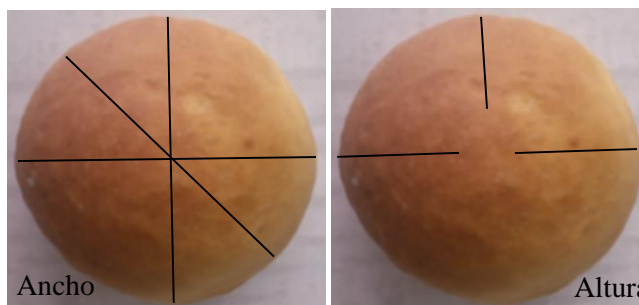


Figura 22. Ángulos del bollo en donde fueron realizadas las mediciones

2.3.6 Parámetros de calidad panadera de bollo para hamburguesa

Para la determinación de la calidad panadera de los bollos elaborados, se utilizó la caracterización de procesos de panificación establecidos por el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria.

También las diferentes formulaciones fueron comparadas con un bollo comercial y con un bollo control elaborado en el laboratorio.

2.3.6.1 Olor, sabor

Tanto el olor, como el sabor, se evaluaron siguiendo la escala propuesta en la caracterización de procesos de panificación (Figura 23).

ATRIBUTOS SENSORIALES			
CALIFICACIÓN	APARIENCIA GENERAL	SABOR	AROMA
Excelente	5	5	5
Bueno	4	4	4
Regular	3	3	3
Malo	2	2	2
Pésimo	1	1	1

Figura 23. Escala de evaluación de apariencia general del pan para hamburguesa

2.3.6.2 Color de la costra

El color es la característica peculiar del pan producida por la luz reflejada sobre éste y que impresiona a la vista (Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición, 2015). Se evaluó el color de la costra siguiendo la escala propuesta en la Caracterización de Procesos de Panificación (Figura 24).

ATRIBUTO SENSORIAL COLOR DE LA COSTRA					
Muy dorada	5		Dorada	4	
Ligeramente dorada	3		Poco dorada	2	
Nada dorada	1				

Figura 24. Escala de evaluación de atributo sensorial color de la costra

2.3.6.3 Textura de la miga

La porosidad o estructura de la celdilla de gas está constituida por el tamaño, forma y distribución de ésta. Un grano deseable está compuesto por celdas pequeñas de tamaño uniforme, de forma oval y de paredes delgadas. (Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición, 2015). Se evaluó la textura de la miga siguiendo la escala propuesta en la Caracterización de Procesos de Panificación (Figura 25).




TEXTURA DE LA MIGA DEL PAN PARA HAMBURGUESA		
Textura de la miga	Calificación	Ejemplo
Alveolos pequeños y uniformes	5 excelente	
Algunos alveolos grandes	4 bueno	
Presencia de muchos alveolos grandes	3 regular	
Alveolos grandes y pequeños con distribución uniforme	2 malo	
Alveolos heterogéneos, desgarraduras y/o zonas de compactación	1 pésimo	

Figura 25. Escala de evaluación de textura de la miga

2.3.7 Evaluación sensorial

2.3.7.1 Prueba de preferencia

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

Esta prueba se realizó a las cuatro formulaciones propuestas (harina refinada de trigo 70 %-harina integral de amaranto 20 %-gluten 10 %; harina refinada de trigo 60 %-harina integral de amaranto 30 %-gluten 10 %; harina refinada de trigo 50 %-harina integral de amaranto 40 % -

gluten 10 % y harina refinada de trigo 40 %-harina integral de amaranto 50 % -gluten 10 %) y se aplicó a 102 jueces no entrenados elegidos al azar, con muestras codificadas pidiéndoles que calificaran cada muestra en base a un cuestionario (Anexo 1).

2.3.7.2 Prueba de nivel de agrado

Las pruebas de aceptación también se conocen como de nivel de agrado (hedónicas). Son un componente valioso y necesario de todos los programas sensoriales. Se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores y según su tipo permiten medir cuánto agrada o desagradó dicho producto (Ramírez, 2012).

Se realizó esta prueba a la formulación seleccionada en la prueba de preferencia y se aplicó a 94 jueces no entrenados elegidos al azar, los datos fueron reportados en un cuestionario de escala no estructurada (Anexo 2).

2.3.8 Análisis Químico Proximal

Se realizó un análisis químico proximal al bollo control elaborado en el laboratorio y al bollo comercial para su comparación con el bollo seleccionado en la prueba sensorial de preferencia, siendo troceados y secados en una estufa BLUE M C-4850-Q a 55°C durante 80 minutos, posteriormente fueron empleados los métodos de la A.O.A.C. (2005) mencionados anteriormente.

También se determinó la humedad del producto (bollo para hamburguesa), mediante el método de termobalanza; ya que, para la realización del análisis químico proximal, el bollo es secado, por lo tanto, no se determina la humedad real del producto.

2.3.8.1 Humedad por termobalanza

Este método se basa en evaporar de manera continua la humedad de la muestra y el registro continuo de la pérdida de peso, hasta que la muestra se sitúe a peso constante. El error de pesada

en este método se minimiza cuando la muestra no se expone constantemente al ambiente (Nollet, 1996).

2.3.9 Evaluación de la calidad nutrimental de bollo para hamburguesa seleccionado

2.3.9.1 Cuantificación de triptófano

Después del anuncio hecho por Hopkins y Cole en 1902 del aislamiento del triptófano por digestión enzimática de la caseína, una gran cantidad de métodos fueron propuestos para la estimación de dicho aminoácido, ya fuera en la proteína intacta o en su hidrolizado. Es el único aminoácido que no se puede cuantificar junto con los demás aminoácidos resultantes de la hidrólisis ácida en equipos como auto analizador o HPLC, por lo que las técnicas colorimétricas para su cuantificación son múltiples. En este caso se hará una hidrólisis enzimática y reaccionará con p-dimetilamino benzaldehído (DMAB) y nitrito de sodio como contraste (Rama *et al.*, 1974).

Reactivos

- Buffer de fosfatos
 - Solución a al 2.8 %. Tomar 5.3 ml
 - Solución b al 5.30 %. Tomar 94.7 ml
- Pepsina 0.3 %
- Pancreatina 0.4 %
- DMAB al 0.5 %
- Nitrito de sodio al 0.2 %
- Solución estándar de triptófano al 0.5 mg/ml

Procedimiento

1. Pesar 0.5 g de muestra.

2. Agregar 5 ml de pepsina; agitar e incubar por 3 horas a temperatura ambiente.
3. Adicionarle 5 ml de NaOH 0.1N y 5 ml de pancreatina, agitar e incubar por 24 horas.
4. Aforar a 25 ml con agua destilada y filtrar.
5. Tomar 2 ml y adicionarle 3.75 ml de HCL concentrado y de DMAB, así como 0.25 ml de NaNO₂ y reposar 15 min.
6. Leer a $\lambda=590$ nm.

2.3.9.2 Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* se lleva a cabo utilizando un sistema multienzimática para determinar la digestibilidad de proteínas. El sistema multienzimática está compuesto por tripsina, quimotripsina, peptidasa y proteasa. Se encontró que el pH de una proteína en suspensión, inmediatamente después de los 20 minutos de digestión, con la solución multienzimática; tiene una gran correlación con la digestibilidad *in vivo* de ratas. El coeficiente de correlación entre el pH a los 20 minutos y la digestibilidad aparente *in vitro* es de 0.90, con un margen de error estimado de 2.23 (Hsu *et al.*, 1977).

La ecuación de la regresión obtenida experimentalmente es:

$$\%D = 234.84 - 22.56 (x)$$

Donde:

%D: porcentaje de digestibilidad

x: es el pH de la suspensión de proteína registrado inmediatamente después de los 20 minutos de la digestión con la solución multienzimática

2.3.9.3 Relación de eficiencia Proteica (PER)

Con el fin de evaluar la calidad proteica del bollo para hamburguesa seleccionado previamente mediante la prueba de preferencia, se llevó a cabo la prueba de la Relación de Eficiencia Proteica (REP) más conocido por sus siglas en ingles PER (Protein Efficiency Ratio) que representa el

cociente entre los gramos de peso ganado de los animales en estudio (ratas Wistar macho de 21 días de nacidas) dividido por los gramos de proteína ingerida. Para ello fue necesario elaborar una dieta isoproteíca e isocalórica con el bollo para hamburguesa seleccionado, y la dieta de referencia de caseína. Se utilizaron 12 ratas machos divididas en dos lotes de 6 ratas cada uno. Las ratas fueron colocadas en forma de culebra japonesa (este método distribuye los pesos en orden ascendente y se van haciendo lotes de seis en seis de izquierda a derecha y regresa de derecha a izquierda para una distribución homogénea), en condiciones de temperatura de 25°C y periodos de luz de 12 horas.

Cada tercer día se registró el peso ganado y la cantidad de alimento consumido. El ensayo tuvo una duración de 28 días.

La digestibilidad aparente de la proteína, que se define como la proporción de nitrógeno ingerido que es absorbido por el animal, se determinó midiendo el nitrógeno ingerido y el de las heces secas y molidas (por Kjeldahl) de cada rata en la última semana del ensayo del PER (28 días) (A.O.A.C., 2005).

2.3.10 Factores anti-nutrimientales

2.3.10.1 Taninos

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

Reactivos

- Solución de dimetil formamida al 75 % (DMF)
- Solución estándar de ácido tánico
- Solución de citrato férrico de amonio

- Hidróxido de amonio

Procedimiento

1. Pesar 1 g de muestra.
2. Adicionar DMF al 75 %.
3. Agitar durante 1 hora, y dejar reposar durante 15 minutos.
4. Centrifugar a 5000 rpm durante 20 minutos.
5. Tomar 1mL de muestra del sobrenadante, ajustar el volumen a 6 ml con agua destilada, 1 ml de citrato férrico (17-20 %), 1 ml de amoniaco.
6. Leer la absorbancia a 525 nm y realizar los cálculos correspondientes.

2.3.10.2 Ácido fítico

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

Reactivos

- Ácido fítico
- Ácido clorhídrico 0.2N
- Sulfato férrico de amonio
- 2,2-Bipiridina
- Ácido tioglicólico

Procedimiento

1. Pesar 0.1g de muestra y adicionar 20 ml de HCl 0.2 N, agitar durante 20 minutos, centrifugar durante 15 minutos.

2. Tomar 0.5 ml del extracto y colocarlo en un tubo de ensaye.
 3. Adicionar 1 ml de sulfato férrico de amonio 0.2 %.
 4. Tapar el tubo y calentarlo a 95 +/- 2°C durante 30 minutos.
 5. Enfriar los tubos de ensaye.
 6. Una vez que se encuentran a temperatura ambiente adicionar 2 ml de 2,2-Bipiridina a cada tubo y agitar.
 7. A los 30 segundos exactamente de adicionar la 2,2-Bipiridina, leer la absorbancia a 519 nm.
 8. Realizar los cálculos correspondientes.
- Graficar µg de P del ácido fítico/ml vs. Absorbancia corregida, realizar la regresión lineal y obtener la ecuación de la recta ($y = mx + b$).

$$P = \frac{(x \cdot E)}{T}$$

Donde:

x : valor obtenido de la ecuación despejada

E : equivalente a 660.08 g (1 mol de ácido fítico)

T : equivalente a 185.82 g (6 moles de fosfato)

P : µg de fosfato del ácido fítico/ml

- Determinar el porcentaje de ácido fítico.

$$\frac{P * 100\%}{M/mlHCl}$$

Donde:

$$M = \frac{\text{muestra (g)}}{20 \text{ ml HCl}}$$

2.3.10.3 Inhibidores de tripsina

Para la determinación de inhibidores de tripsina se utilizó la técnica que 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 (bezoil-arginina-p-nitroanilide) (BAPNA), el cual producirá coloración, que es inversamente proporcional al contenido de inhibidores de tripsina y que se lee en el espectrofotómetro a una $\lambda = 410 \text{ nm}$ (Kakade *et al.*, 1974)

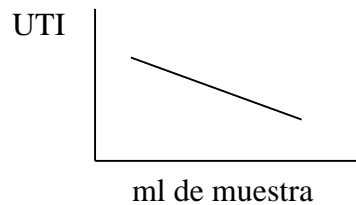
Reactivos

- Solución amortiguadora de TRIS 0.05N, pH 8.2
- Solución BAPNA a 37°C
- Solución estándar de tripsina a 37°C
- Ácido acético al 30 %
- HCl 0.001N
- NaOH 0.01N

Procedimiento

1. A 1 g de muestra molida y desengrasada, adicionarle NaOH 0.01N; se ajusta el pH a 9.6, agitar por un tiempo de 2 horas con 30 min a 300 rpm. Después se deja en reposo por 30 min y centrifugar 5 minutos a 5000 rpm.
2. Se toman porciones de 0, 0.6, 1, 1.4, y 1.8 ml del extracto anterior ajustando el volumen a 2.0 ml con agua destilada.
3. Adicionar 2 ml de solución estándar de tripsina y agitar. Se mantiene en contacto inhibidor de tripsina-tripsina por 10 min en un baño de 37°C.
4. Adicionar 5ml de solución BAPNA cada 30 segundos a los cinco tubos. Se mantiene dicha mezcla de reacción por 10 minutos exactamente.
5. Adicionar 1ml de ácido acético al 30 %, para detener la reacción.

6. Si al adicionar el ácido acético al tubo de reacción, este se enturbia, será necesario filtrar, para ello es necesario dejar el tubo en reposo por 5 min. El filtrado deber ser transparente.
7. La lectura en el espectro se realiza a λ 410 nm.
8. Se grafican (x) los ml de extracto vs (y) UTI/ml para calcular la regresión lineal.



9. 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.

$$B * Factor * \frac{Vol. aforado muestra}{mg de muestra} = \frac{UTI}{mg de muestra}$$

Donde:

B: Ordenada al origen

Factor: Factor de dilución

2.3.11 Análisis estadístico

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

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis químico proximal de la materia prima

Se determinó la composición química de la materia prima; harina refinada de trigo marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, mediante un análisis químico proximal (Tabla 13), para comparar su composición química y determinar si se pueden complementar al unirlos en el producto final.

Tabla 13. Análisis químico proximal de harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto utilizadas como materia prima

Harina	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Trigo (Tres estrellas®)	12.06 ± 0.1 ^a	8.94 ± 0.015 ^a	1.11 ± 0.01 ^a	0.49 ± 0.02 ^a	0.72 ± 0.014 ^a	76.68 ^a
Amaranto	10.22 ± 0.25 ^b	15.55 ± 0.025 ^b	7.12 ± 0.12 ^b	2.29 ± 0.13 ^b	8.44 ± 0.18 ^b	56.38 ^b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Se observa que todos los componentes químicos (humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra y carbohidratos) de la harina refinada de trigo Tres estrellas®, en comparación con la harina integral de amaranto, presentaron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). El contenido de proteína en el amaranto fue casi del doble que la del trigo, pero no solo es importante la cantidad sino la calidad, ya que se ha reportado que contiene más lisina y aminoácidos azufrados que el trigo (Murray *et al.*, 2005), además el valor biológico de las proteínas de amaranto es superior al presentado por el trigo y cercano al de la leche de vaca (75, 55 y 72 respectivamente) (Sosa, 2011).

El contenido de grasa del amaranto fue cinco veces mayor que el trigo. Esto es importante porque el amaranto contiene ácidos grasos insaturados (más del 75 %) y es especialmente rico en ácido linoleico y ácido oleico (Murray *et al.*, 2005). Además, se ha reportado que el amaranto disminuye el colesterol, los triglicéridos, y mejora el metabolismo (Contreras *et al.*, 2011).

Así mismo, el grano de amaranto contiene mayores cantidades de cenizas, de las cuales se ha reportado que tiene más potasio, calcio, fósforo, hierro, zinc, magnesio y cobre que el trigo (Sanz, 2011). El contenido de fibra cruda del amaranto fue más de diez veces mayor que la del trigo, siendo importante, ya que es recomendable tener una dieta rica en fibra, la cual puede ser proporcionada por el consumo de amaranto (Murray *et al.*, 2005).

La disminución en cuanto a proteína, grasa, cenizas y fibra en la harina de trigo resulta normal ya que el grano de trigo es sometido a una molienda, generalmente con 72 % de extracción, y el 28% restante está formado por la cascarilla y el germen, donde se localizan la mayor parte de los lípidos, fibra, vitaminas y los minerales en los cereales (Rosado *et al.*, 1999). En cuanto a los resultados obtenidos para la harina integral de amaranto, es importante su cuantificación porque su composición química varía en función de factores abióticos como: suministro de agua, concentración de oxígeno, temperatura del suelo, luz, viabilidad de la semilla, época de cosecha, etcétera (Stubbs *et al.*, 1986).

Considerando lo mencionado anteriormente, el grano de amaranto puede ser usado en este proyecto como complemento nutrimental para la harina refinada de trigo en la elaboración de bollos para hamburguesa.

3.2 Elaboración de bollo para hamburguesa

Para la elaboración de los bollos para hamburguesa se utilizó el proceso de panificación tipo esponja y se propusieron diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto.

Los ingredientes (leche entera fría, agua, huevo, aceite, levadura, azúcar, sal y mejorante), se mantuvieron constantes, es decir, no fueron variados en las formulaciones propuestas (Tabla 14), ya que solo se pretendía variar el porcentaje de la harina refinada de trigo y la harina integral de amaranto, determinando con ello, su efecto en el producto final (bollo para hamburguesa).

Primero, se elaboró un bollo para hamburguesa a base de 100 % harina refinada de trigo marca Tres estrellas®; él cual fue utilizado como control de las condiciones de elaboración en el Laboratorio Bioquímica y Fisiología de Granos en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria; comparándolo con un bollo para hamburguesa comercial, y después ambos se compararon con los bollos complementados con harina integral de amaranto.

Tabla 14. Formulaciones evaluadas para la elaboración de bollos para hamburguesa

Formulaciones (%)								
Ingredientes	H. T 100 %	H.T 80 % H.A 20 %	H.T 70 % H.A 30 %	H.T 60 % H.A 40 %	H.T 70 % H.A 20 % G 10 %	H.T 60 % H.A 30 % G 10 %	H.T 50 % H.A 40 % G 10 %	H.T 40 % H.A 50 % G 10 %
	H.T	60.61	48.488	42.427	36.366	42.427	36.366	30.305
H.A	-	12.122	18.183	24.24	12.122	18.183	24.24	30.305
Gluten	-	-	-	-	6.061	6.061	6.061	6.061
Leche entera fría	18.48							
Agua	12.32							
Huevo	5.2							
Aceite	3.08							
Levadura	2.56							
Azúcar	2.46							
Sal	1.23							
Mejorante	0.24							

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

3.2.1 Pruebas de calidad física

A continuación se presentan los resultados del bollo para hamburguesa control y comercial, para compararlos. En la tabla 15 se muestran las características físicas.

Tabla 15. Características físicas de bollo comercial y bollo elaborado con 100 % harina refinada de trigo

Muestra	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Volumen específico (cm ³ /g)	Longitudes (cm)	
				Ancho	Altura
Comercial	195 ^a	57 ^a	3.42 ^a	8.99 ± 0.37 ^a	3.29 ± 0.18 ^a
Control	270 ^b	59 ^a	4.57 ^b	8.63 ± 0 ^a	4.65 ± 0.35 ^b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Se observa que en el volumen y volumen específico se tiene diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre el bollo para hamburguesa comercial y el control, esto se debe a que generalmente los bollos para hamburguesa comerciales, son manipulados para su distribución y suelen ser dañados (comprimidos) (Figura 26), afectando directamente sus características físicas. En cuestión del peso y el ancho, son estadísticamente iguales. Por lo tanto, físicamente el bollo para hamburguesa control cumple con las características que posee un bollo comercial.

3.2.2 Pruebas de calidad panadera

En los parámetros de calidad panadera fueron evaluados los atributos sensoriales como sabor y aroma, color de la costra y textura de la miga, para cada atributo fue asignada una calificación y se obtuvo una calificación total (Tabla 16), basándose en valores establecidos en la caracterización de procesos de panificación.

Tabla 16. Características panaderas de bollo comercial y bollo elaborado con 100 % harina refinada de trigo

Muestra	Atributos sensoriales (sabor y aroma)	Color de la costra	Textura de la miga	Calificación total
Comercial	4 ^a	5 ^a	5 ^a	3.75 ^a muy bueno-bueno
Control	4 ^a	4.5 ^a	5 ^a	4.5 ^b excelente-muy bueno

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

En todos los parámetros de calidad panadera no se presentó diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre el bollo para hamburguesa comercial y el control (Figura 27), a excepción de la calificación final, donde si se presenta diferencia; esto se debe a que también es considerada la calificación asignada para el volumen el cual es diferente entre los dos productos, considerando 5 el valor más alto (Tabla 16).

Con base en los resultados antes explicados se puede concluir que el bollo para hamburguesa elaborado en el Laboratorio es similar a un bollo comercial, indicando que las condiciones de elaboración fueron las adecuadas, asegurando con ello que las características físicas de los bollos para hamburguesa complementados con harina integral de amaranto, solo se verán afectadas por la inclusión de este ingrediente y no por el proceso.

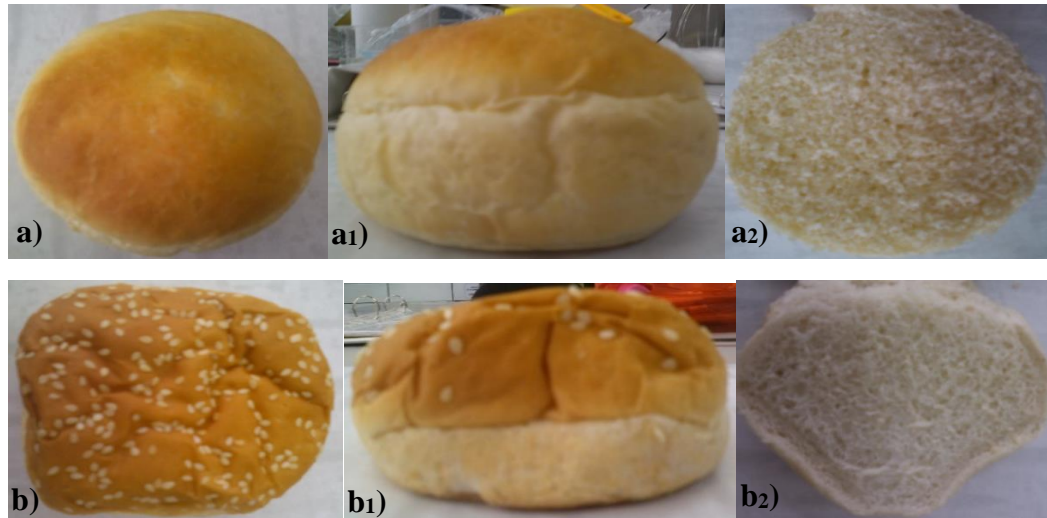


Figura 26. a) Bollo elaborado con 100 % harina refinada de trigo, a₁) altura a₂) prueba miga y b) Bollo comercial, b₁) altura b₂) prueba miga

3.2.3 Análisis químico proximal de bollo control y bollo comercial

En cuanto a los componentes químicos: humedad, proteína, grasa y carbohidratos del bollo para hamburguesa comercial en comparación con el bollo para hamburguesa control, no presentaron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$); y solo en su contenido de cenizas y fibra sí se presentó diferencia (Tabla 18). Eso se puede deber a que no se conoce en su totalidad la composición química del bollo para hamburguesa comercial, ya que, aunque ha sido reportada (Mataix, 2003), y se cuenta con la composición de la etiqueta del producto, no se sabe realmente que aditivos sean utilizados para su elaboración.

Los resultados del análisis químico proximal obtenidos en el bollo para hamburguesa control (Tabla 17), en comparación con los resultados para la materia prima (harina refinada de trigo) (Tabla 14), aumentaron, ya que el bollo para hamburguesa no está compuesto en su totalidad por harina refinada de trigo, también lo constituyen otros ingredientes (leche entera fría, agua, huevo, aceite, levadura, azúcar, sal y mejorante), los cuales añaden valor a su composición química, como ejemplo; la leche entera que en promedio posee un total de 85-90 % agua, 2.9-4.0 % proteínas, 2.5-5 % grasa, 4-5.5 % lactosa y 0.7-1 % sales minerales (Gil, 2010).

Tabla 17. Análisis químico proximal de bollo comercial y bollo elaborado con 100 % harina refinada de trigo

Muestra	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Comercial	6.91 ± 0.08 ^a	10.81 ± 0.47 ^a	1.71 ± 0.005 ^a	2.29 ± 0.04 ^a	4.14 ± 0.007 ^a	72.59 ^a
Control	6.38 ± 0.11 ^a	11.93 ± 0.44 ^a	1.94 ± 0.04 ^a	2.71 ± 0.10 ^b	2.85 ± 0.10 ^b	73.01 ^a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

3.3 Formulaciones a base de harina de trigo y harina integral de amaranto

A continuación, se presenta los resultados obtenidos, para cada una de las formulaciones propuestas (80:20, 70:30 y 60:40; harina refinada de trigo y harina integral de amaranto).

3.3.1 Pruebas de calidad física

Tabla 18. Características físicas de bollos para hamburguesa elaborados con diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto

Formulaciones	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Volumen específico (cm ³ /g)	Longitudes (cm)	
				Ancho	Altura
H.T 80% H.A 20%	301 ± 1.41 ^a	88 ± 0.70 ^a	3.43 ± 0.01 ^a	9.50 ± 0.03 ^a	4.32 ± 0.01 ^a
H.T 70% H.A 30%	285 ± 2.21 ^a	87.5 ± 0.70 ^a	3.25 ± 0.26 ^a	9.52 ± 0.48 ^a	3.94 ± 0.26 ^a
H.T 60% H.A 40%	212.5 ± 3.53 ^b	87.75 ± 1.06 ^a	2.3 ± 0.16 ^b	8.94 ± 0.19 ^a	3.16 ± 0.11 ^b

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Se observa que conforme aumenta el contenido de harina integral de amaranto en cada una de las formulaciones disminuye el volumen, volumen específico y las longitudes, el peso se mantiene constante (Tabla 18), presentando diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$),

entre la formulación 60:40 con las formulaciones 80:20 y 70:30 (harina refinada de trigo y harina integral de amaranto).

Esto puede deberse a la falta de gluten en el amaranto, lo cual genera pérdida de las propiedades viscoelásticas de la masa y por lo tanto, de la capacidad de retención de gas durante el amasado y cocción que se ve reflejado en el volumen; en general determina la apariencia así como las propiedades de textura del producto (Sánchez *et al.*, 1996). Otra posibilidad sería el tipo de almidón que contiene el grano de amaranto, pues contiene poca amilosa, de 5 a 8 %, presentando menor poder de hinchamiento, mayor solubilidad en agua, y una capacidad de absorción de agua superior que el almidón de trigo, provocando mayor dureza y por lo tanto, condiciones inadecuado para la panificación, con respecto a cereales como el trigo, que contiene tres veces más, lo que conlleva que las propiedades físico-químicas de los almidones del amaranto sean diferentes, (Hevia *et al.*, 2002). También el mayor contenido de fibra en la harina integral de amaranto afectó la calidad del bollo para hamburguesa, fundamentalmente como consecuencia de las partículas de salvado, el cual puede dificultar la formación de la red glutinosa (Sanz, 2011).

3.3.2 Pruebas de calidad panadera

La calificación asignada a los atributos sensoriales (sabor y aroma) descendieron en las formulaciones conforme aumentó el contenido de harina integral de amaranto, presentando diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre las formulaciones (80:20 y 60:40 harina refinada de trigo y harina integral de amaranto) aunque la formulación 80:20 es estadísticamente igual que la formulación 70:30 y está a su vez es igual a la formulación 60:40 (Tabla 19). En cuanto al color de la costra las formulaciones 80:20 y 70:30 presentaron diferencia estadísticamente significativa con la formulación 60:40. Para la textura de la miga la formulación 80:20 presentó diferencia con respecto a las formulaciones 70:30 y 60:40.

La disminución de la calificación para las características panaderas conforme aumenta el contenido de harina integral de amaranto, puede deberse a que son afectados parámetros tales como el color de la costra, esto podría estar relacionado con el contenido de azúcares reductores

y proteínas presentes en la harina de amaranto que reaccionan durante la cocción produciendo pardeamiento no enzimático de Maillard y con las condiciones aplicadas durante la cocción, provocando un color más oscuro (Montero *et al.*, 2015).

Tabla 19. Características panaderas de bollos para hamburguesa elaborados con diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto

Formulaciones	Atributos sensoriales (sabor y aroma)	Color de la costra	Textura de la miga	Calificación total
H.T 80% H.A 20%	4.55 ± 0.35 ^a	4.5 ± 0 ^a	4.03 ± 0.18 ^a	4.52 ^a muy bueno
H.T 70% H.A 30%	4.06 ± 0.33 ^{ac}	4.5 ± 0 ^a	4.75 ± 0.35 ^b	4.07 ^a muy bueno
H.T 60% H.A 40%	3.6 ± 0.28 ^{bc}	2.35 ± 0.21 ^b	5 ± 0 ^b	2.98 ^b bueno

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Como se mencionó anteriormente se obtuvieron resultados desfavorables en la corteza del bollo para hamburguesa a partir de la formulación 60:40 (Figura 27a, 27a₁, 27a₂), por lo que se decidió agregar gluten de trigo en un 10 % a las formulaciones para mejorar sus características sensoriales, ya que las proteínas formadoras (gliadinas y gluteninas) les dan extensibilidad, viscosidad, elasticidad y fuerza a las masas; esta concentración ya ha sido utilizada en trabajos previos realizados (Cabrera, 2007; Torres, 2014; Díaz, 2014 y Cruz, 2015), determinando esta cantidad como la más viable para la elaboración de productos complementados con harina integral de amaranto, ya que carece de estas proteínas, necesarias para aumentar el volumen y mejorar la apariencia del producto (Osca, 2007).

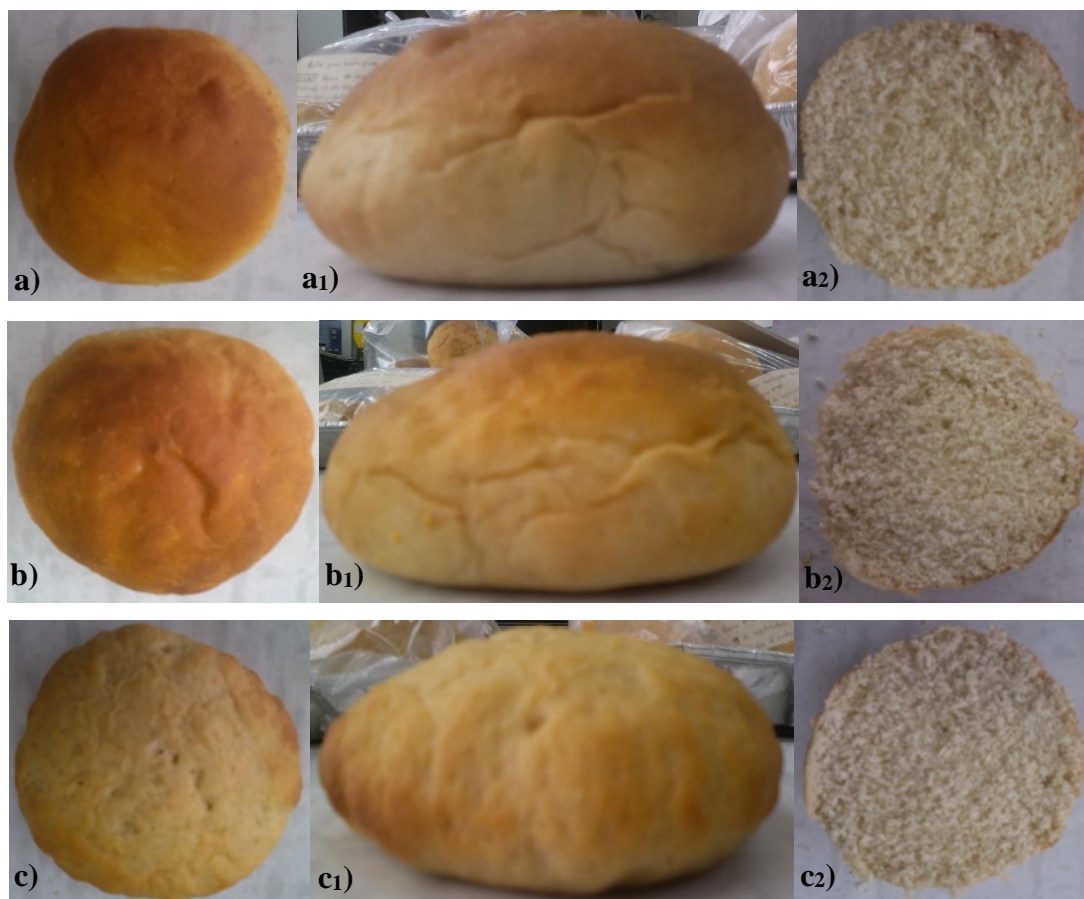


Figura 27. Formulación 80:20 (harina refinada de trigo: harina integral de amaranto) a) Bollo, a₁) altura a₂) prueba miga, formulación 70:30 b) Bollo, b₁) altura b₂) prueba miga, y formulación 60:40 c) Bollo, c₁) altura c₂) prueba miga

3.4 Formulaciones a base de harina de trigo, harina integral de amaranto y gluten

A continuación se presentan los resultados obtenidos tanto de calidad física como de calidad panadera de las cuatro formulaciones propuestas adicionando gluten en proporciones de 70:20:10, 60:40:10, 50:40:10 y 40:50:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten).

3.4.1 Pruebas de calidad física

Los parámetros de calidad física evaluados fueron: volumen, peso, volumen específico, ancho y altura.

Tabla 20. Características físicas de bollos para hamburguesa elaborados con diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten

Formulaciones	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Volumen específico (cm ³ /g)	Longitudes (cm)	
				Ancho	Altura
H.T 70% H.A 20% G 10%	330 ^a	87 ^a	3.79 ^a	10.03 ± 0.04 ^a	4.36 ± 0 ^a
H.T 60% H.A 30% G 10%	305 ^a	87.5 ^a	3.48 ^a	9.53 ± 0.23 ^a	5.41 ± 0.02 ^b
H.T 50% H.A 40% G 10%	230 ^b	88 ^a	2.61 ^b	8.78 ± 0.11 ^a	4.23 ± 0.32 ^a
H.T 40% H.A 50% G 10%	207.5 ± 3.53 ^b	87.75 ± 0.35 ^a	2.37 ± 0.007 ^b	9.02 ± 0.15 ^a	3.54 ± 0.30 ^c

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Se observa que se presenta un comportamiento similar que en los resultados de mezclas de harina refinada de trigo con harina integral de amaranto (Tabla 18); conforme aumenta el contenido de harina integral de amaranto en las formulaciones, disminuye el volumen, por lo tanto, el volumen específico y las longitudes y presentan diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre las formulaciones 70:20:10 y 60:40:10 con las formulaciones 50:40:10 y 40:50:10 (Tabla 20).

Al comparar los resultados con los de las formulaciones sin gluten, se observa que se presenta diferencia entre sus características físicas, existe un incremento en el volumen y por lo tanto en el volumen específico, esto se debe a que el gluten agregado confiere a la harina sus propiedades elásticas, y dota de consistencia y esponjosidad al pan (Molina, 2013).

3.4.2 Pruebas de calidad panadera

En cuanto a los parámetros de calidad panadera fueron evaluados los atributos sensoriales (sabor y aroma), color de la costra, textura de la miga y para cada uno de ellos fue asignada una calificación.

Tabla 21. Características panaderas de bollos para hamburguesa elaborados con diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten

Formulaciones	Atributos sensoriales (sabor y aroma)	Color de la costra	Textura de la miga	Calificación total
H.T 70% H.A 20% G 10%	4.87 ^a	5 ^a	4 ^a	4.71 ^a excelente-muy bueno
H.T 60% H.A 30% G 10%	4.8 ^a	4.5 ^a	3.5 ^a	4.45 ^a muy bueno
H.T 50% H.A 40% G 10%	4.6 ^a	4.5 ^a	4.5 ^{ab}	3.65 ^b muy bueno-bueno
H.T 40% H.A 50% G 10%	4.36 ± 0.36 ^a	4.5 ± 0 ^a	4.3 ± 0.28 ^{ab}	3.54 ^b muy bueno-bueno

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

En los resultados obtenidos de calidad panadera, no se presenta diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

En cuanto a la calificación total (promedio de las calificaciones asignadas) se observa que disminuye conforme aumenta el contenido de harina integral de amaranto; esto se debe a que también es considerada la calificación asignada para el volumen, en el resto de las características se indica que es indiferente la cantidad de harina integral de amaranto que es agregada a las formulaciones, obteniendo buenas calificaciones y una buena presentación del producto (Tabla 21 y Figura 28), esto se debe a la adición de gluten que mejoró la red que atrapa el gas carbónico que se produce durante la etapa de fermentación por la levadura (Calaveras, 2004).

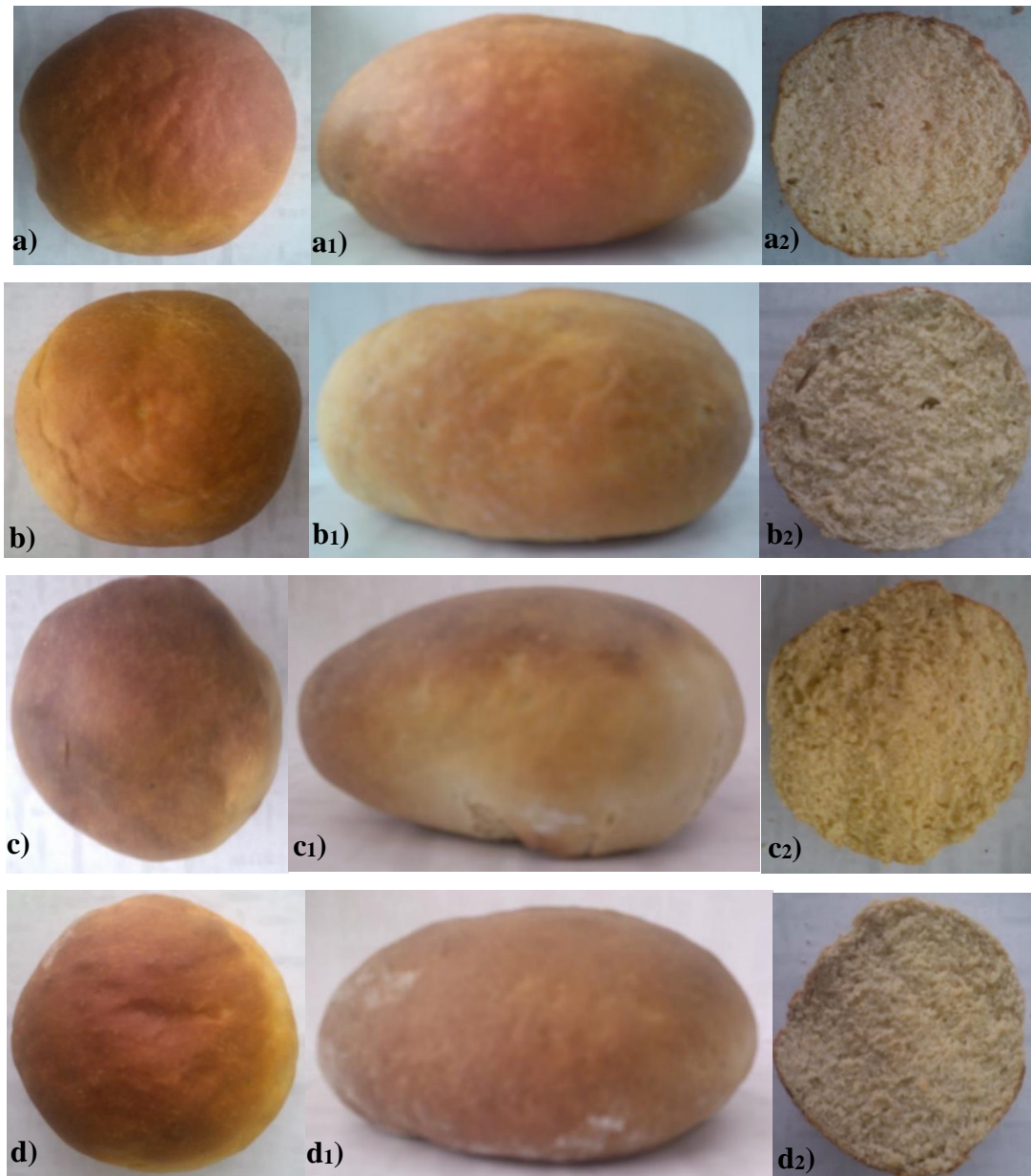


Figura 28. Formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo: harina integral de amaranto: gluten) a) Bollo, a₁) altura a₂) prueba miga, formulación 60:30:10 b) Bollo, b₁) altura b₂) prueba miga, formulación 50:40: c) Bollo, c₁) altura c₂) y formulación 40:50:10 d) Bollo, d₁) altura d₂) prueba miga

3.5 Evaluación sensorial (prueba de preferencia)

Los resultados del análisis sensorial realizado a 102 jueces no entrenados, mostró que hubo una aceptación mayoritaria de los productos desarrollados con las diferentes formulaciones mencionadas anteriormente (Figura 29). Los bollos para hamburguesa formulados con 20 % de harina integral de amaranto se valoraron con mejores puntuaciones que los formulados con 30, 40 y 50 %, aunque no presentaron diferencia estadísticamente significativa entre las puntuaciones asignadas (Tabla 22). El 34.31 % de los consumidores aceptaron el bollo para hamburguesa con 20 % de harina integral de *A. hypochondriacus*, mientras que con el 30 % de sustitución solo el 16.28 % de ellos.



Figura 29. Muestras de bollos para prueba de preferencia

Tabla 22. Resultados de prueba de preferencia aplicada a los bollos para hamburguesa elaborados con las diferentes formulaciones

Formulaciones	Puntuación	Número de jueces que asignaron la puntuación más elevada
Trigo-Amaranto-Gluten (70-20-10%)	269 ^a	35 ^a
Trigo-Amaranto-Gluten (60-30-10%)	257 ^a	19 ^b
Trigo-Amaranto-Gluten (50-40-10%)	246 ^a	24 ^c
Trigo-Amaranto-Gluten (40-50-10%)	248 ^a	24 ^c

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Los jueces describieron el sabor de los productos con contenido de harina integral de amaranto como “sabor agradable”, “sabor amargo”, “buena textura”, “buen aroma”, “consistencia esponjosa”, “buen color”, (Figura 30), intentando describir de esta forma un nuevo sabor hasta ahora no percibido.

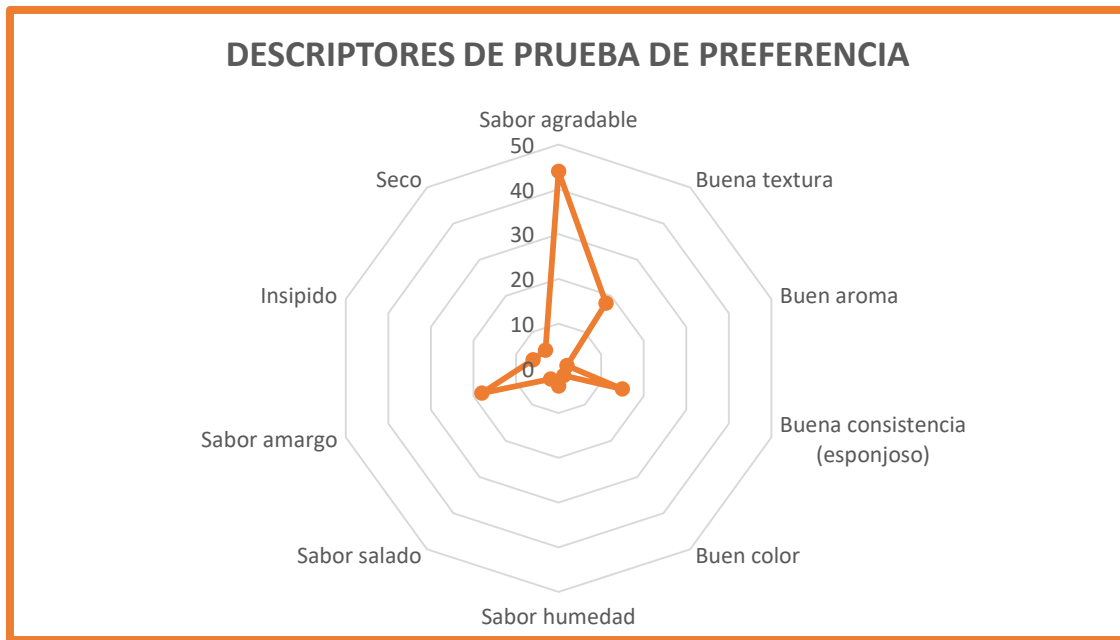


Figura 30. Descriptores indicados por los jueces para prueba de preferencia

Al comparar los resultados obtenidos de calidad física, calidad panadera y prueba sensorial de preferencia, se eligió la formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten), ya que presentó las mejores características físicas obteniendo un mayor volumen (300 cm^3) y por lo tanto un mayor volumen específico ($3.79 \text{ cm}^3/\text{g}$), en comparación al resto de las formulaciones, para las características panaderas presentó una mayor calificación total (4.71 excelente-muy bueno), así como mayor preferencia por parte del consumidor, obteniendo una mayor puntuación (269) y un mayor número de jueces que asignaron la puntuación más elevada (35).

3.6 Análisis químico proximal del bollo para hamburguesa seleccionado

Una vez seleccionada la formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten), se prosiguió a la determinación de su composición química.

La formulación seleccionada 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten) presentó un incremento significativo en el contenido de cenizas (1.5 %) por la inclusión de la harina integral de amaranto que podría significar un aumento del contenido de minerales en el producto final (Sanz, 2011), también tuvo un aumento en proteínas (5 %); este aumento representa una mayor cantidad de proteínas de mayor valor biológico para consumo humano debido a su composición aminoacídica respecto al trigo (Sanz *et al.*, 2013), en el contenido de grasa hubo un aumento de 1.5 % respecto al bollo control y comercial, así como en el contenido de fibra solo hubo un aumento respecto al bollo control del 1 % (Tabla 23).

Tabla 23. Análisis químico proximal de bollo para hamburguesa con formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten) y bollo control

Formulación	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
H.T 70% H.A 20% G 10%	6.76 ± 0.38 ^a	16.31 ± 0.0 ^a	3.23 ± 0.12 ^a	3.99 ± 0.29 ^a	3.96 ± 0.06 ^a	65.69 ^a
Control	6.38 ± 0.11 ^a	11.93 ± 0.44 ^b	1.94 ± 0.04 ^b	2.71 ± 0.10 ^b	2.85 ± 0.10 ^b	73.01 ^b

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

Por otra parte, las muestras adicionadas con harina integral de amaranto requirieron mayor proporción de agua (10 ml) en la formulación para alcanzar la misma consistencia de la masa que la muestra control. Sin embargo, a pesar de ello y por contener mayor proporción de fibra dietética, los valores de humedad en el producto final no mostraron diferencias significativas respecto al control (Tabla 24).

Tabla 24. Humedad por termobalanza de bollos para hamburguesa control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)

Muestra	Humedad (%)
Control	30.71 ± 1.60 ^a
H.T 70% H.A 20% G 10%	29.94 ± 0.098 ^a

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

3.7 Evaluación de la calidad nutrimental del bollo para hamburguesa seleccionado

Es importante conocer la calidad nutrimental del bollo para hamburguesa, para determinar si puede ser benéfico para el consumo humano, así como conocer los factores anti-nutrimientales que puedan afectar la biodisponibilidad de algunos nutrientes, tales como proteínas y minerales.

3.7.1 Cuantificación de triptófano

En los resultados obtenidos se presentó una disminución de este aminoácido en comparación al grano de amaranto sin procesar (1.5 %) (Murray *et al.*, 2005) (Tabla 25) presentando diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) del bollo control con respecto al bollo comercial y al bollo complementado con harina integral de amaranto (20 %). La disminución del contenido de triptófano se debe a que es el aminoácido esencial más sensible al calor y durante el proceso de elaboración del bollo para hamburguesa se somete al proceso de horneado (180°C), de igual forma sirve como indicador, ya que sí éste tolera el calentamiento seguramente el resto de aminoácidos esenciales no se verán afectados (Murray *et al.*, 2005).

Tabla 25. Valores obtenidos de triptófano de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)

Muestra	Cuantificación de triptófano (g Try/100 g de proteína)
Comercial	1.08 ± 0.098 ^a
Control	0.817 ± 0.029 ^b
H.T 70% H.A 20% G 10%	1.07 ± 0.070 ^a

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

El triptófano es uno de los aminoácidos esenciales presentes en el grano de amaranto, en mayor proporción que en algunos cereales, regula los niveles de serotonina, sirve como neurotransmisor cerebral precursora de la hormona melatonina, la cual regula el ciclo diario de vigilia-sueño, ayuda a que la serotonina controle el apetito, ejerciendo un efecto ansiolítico y antidepresivo y controla los niveles de insulina, dado que tiende a calmar nuestro sistema nervioso (Murray *et al.*, 2005).

3.7.2 Digestibilidad *in vitro*

Se determinó la digestibilidad *in vitro* de los bollos para hamburguesa elaborados y los resultados mostraron que no se presenta diferencia estadísticamente significativa entre las muestras ($P \leq 0.05$). Las proteínas de origen vegetal son generalmente inferiores en calidad debido a su baja proporción o ausencia de algunos aminoácidos esenciales, pero también la presencia de algunos factores anti-nutrimientales tales como taninos y fitatos, disminuyen su digestibilidad haciendo difícil su absorción debido a la reducción de la digestión enzimática (Montero *et al.*, 2015). Sin embargo, se presentó una buena digestibilidad en el bollo complementado con harina integral de amaranto, sobre todo si se compara con lo reportado para muestras de harina de amaranto crudo que tiene un 79 % (Pichardo *et al.*, 2013). Este incremento se debe a que el producto (bollo para hamburguesa), se sometió a un horneado, por lo tanto a

altas temperaturas (180°C), lo que produce la desnaturalización de las proteínas provocando modificaciones conformacionales y con ello el aumento de la digestibilidad (Badui, 2006).

Tabla 26. Digestibilidad *in vitro* de bollos para hamburguesa comercial, control y formulaciones 70:20:10 y 50:40:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)
Comercial	87.74 ± 0.45 ^a
Control	89.55 ± 0.59 ^a
H.T 70% H.A 20% G 10%	88.94 ± 1.36 ^a

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

3.7.3 Relación de Eficiencia Proteica (PER)

Se observa que el PER_{ajustado} (este resultado indica la cantidad de proteína asimilada y su relación con el incremento de peso de las ratas) del bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto fue de 1.53 valor que representa el 61 % (Tabla 27), con respecto a la caseína, presentando diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). Realizando una comparación con un pan elaborado en otra investigación (Montero *et al.*, 2015) en donde se realizó una sustitución con un 20 % de harina integral de amaranto obtuvieron un valor para un PER_{ajustado} de 0.06 representando el 2.60 % con respecto al valor obtenido para la caseína, pudiendo concluir que el bollo para hamburguesa elaborado en el laboratorio puede ser mejor asimilado por el organismo humano.

Las ratas alimentadas con la dieta de bollo para hamburguesa y dieta de caseína mostraron aumento de peso durante los 21 días del ensayo. El consumo de alimento y proteína varió de manera similar; se observó una menor ingesta en el grupo con la dieta de bollo para hamburguesa en comparación con la dieta de caseína, lo cual podría deberse a la mayor sensación de saciedad

de los animales que pudiera relacionarse con el contenido de fibra aportada por el amaranto (Montero *et al.*, 2015).

Tabla 27. Relación de Eficiencia Proteica (PER)

Rata	Caseína	Bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto
PER	2.87 ± 0.12 ^a	1.76 ± 0.22 ^b
PER ajustado		1.53

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05)

3.7.4 Digestibilidad *in vivo* (aparente)

Se observa en la Tabla 28 la digestibilidad aparente obtenida del bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto la cual fue de 92 % en comparación con la obtenida para la referencia (caseína) donde se obtuvo un valor de 97 %, no presentando diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 28. Digestibilidad aparente

Caseína (%)	Bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto (%)
96.8 ± 0.4 ^a	91.77 ± 1.86 ^a

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05)

Considerando que la fibra de un alimento afecta la ganancia en peso, así como la excreción fecal de proteína, debido a la disminución de la digestibilidad del alimento (Montero *et al.*, 2015), se esperaba que el aporte de amaranto en los bollos para hamburguesa afectara negativamente su digestibilidad; sin embargo, la digestibilidad aparente no fue estadísticamente significativa entre el bollo para hamburguesa y la caseína; aun cuando la ganancia en peso en la dieta de caseína fue mayor.

Las proteínas de origen vegetal son generalmente inferiores en calidad debido a su baja proporción o ausencia de algunos aminoácidos esenciales y a la presencia de algunos factores

anti-nutricionales tales taninos y fitatos, que podrían modificar la bio-utilización de los alimentos, haciendo difícil su absorción debido a la reducción de la digestión enzimática, especialmente de las proteínas (Montero *et al.*, 2015). Sin embargo, el bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto presentó una digestibilidad de 91.77 % lo que demostró que la proteína del amaranto tuvo una elevada disponibilidad para ser utilizada aun con el alto contenido de fibra que presentó. En una investigación donde se sustituyó en un 20 % harina de trigo por harina integral de amaranto para la elaboración de un pan (Montero *et al.*, 2015), se obtuvo una digestibilidad aparente del 77.20 % y para la caseína de 87.80 %, obteniendo mejores resultados para el bollo para hamburguesa elaborado en el laboratorio.

3.8 Factores anti-nutrimientales

El amaranto es un pseudocereal que presenta compuestos anti-nutrimientales, cuya concentración depende de las condiciones agronómicas en que se obtuvo el grano (variedad, riego, clima, etcétera). Por eso es importante determinar el contenido de estos compuestos en el producto elaborado.

3.8.1 Taninos

Se llevó a cabo la determinación del contenido de taninos en los diferentes bollos para hamburguesa analizados (Tabla 29), se observó que el contenido de estos compuestos aumentó en el bollo complementado con harina integral de amaranto, presentando diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), era de esperarse que esto sucediera, ya que investigaciones previas (Pichardo *et al.*, 2013) han determinado que el grano de amaranto sin procesar posee 0.23 ± 0.01 % de taninos, al realizar la comparación con este valor, se presenta una disminución respecto a su contenido, ya que los taninos son compuestos termo sensibles (Solano, 2002), y como se ha mencionado el bollo para hamburguesa es sometido a un proceso de horneado (180°C).

Tabla 29. Valores obtenidos de taninos de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)

Muestra	Taninos (%)
Comercial	0.095 ± 0.001 ^a
Control	0.148 ± 0.001 ^b
H.T 70% H.A 20% G 10%	0.147 ± 0.002 ^b

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

3.8.2 Ácido fítico

Es importante la determinación de ácido fítico debido a que su molécula contiene seis grupos fosfato con carga, formando complejos con cationes minerales y proteínas. Es importante señalar que el contenido de ácido fítico en cereales y leguminosas está influido por varios factores, como la variedad del grano, zona de cultivo, calidad de molienda, etc., por lo cual en un mismo tipo de muestra pueden existir valores diferentes (Sotelo *et al.*, 2002).

Tabla 30. Valores obtenidos de ácido fítico de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)

Muestra	Ácido fítico (%)
Comercial	0.92 ± 0.08 ^a
Control	1.12 ± 0.08 ^b
H.T 70% H.A 20% G 10%	1.16 ± 0.113 ^b

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Se observó en los resultados obtenidos del contenido de ácido fítico (Tabla 30), un aumento en el bollo con harina integral de amaranto, presentando únicamente diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con el bollo para hamburguesa comercial, se ha reportado un contenido

de ácido fólico de 0.62-1.35 % en el trigo (Solano, 2002), por lo que los resultados obtenidos tanto para el bollo comercial como el control, se encuentran dentro del rango. En cuanto a la formulación que contienen harina integral de amaranto (20 %) presenta un contenido menor de ácido fólico en comparación con lo reportado en otras investigaciones para el grano de amaranto (1.23 %), esto se debe a que el someter a los alimentos a diferentes procesamientos puede influenciar en el contenido de ácido fólico en ellos, se ha encontrado que los procesos de fermentación (durante la elaboración del producto, es sometido a dos fermentaciones), germinación y el tostado; son los que poseen mayor influencia en la disminución de los fitatos en los alimentos (Solano, 2002).

3.8.3 Inhibidores de tripsina

Se determinó el contenido de inhibidores de tripsina en las diferentes muestras evaluadas y no se encontró presencia de estos compuestos (Tabla 31). Esto se debe a que la actividad de este compuesto puede eliminarse por medio de procesos térmicos, los cuales desnaturalizan las enzimas que inhiben a la tripsina (Elizalde *et al.*, 2009).

Tabla 31. Valores obtenidos de inhibidores de tripsina de bollos para hamburguesa comercial, control y formulación 70:20:10 (harina refinada de trigo, harina integral de amaranto y gluten)

Muestra	Inhibidores de tripsina (UTI/mg de muestra)
Comercial	ND
Control	ND
H.T 70% H.A 20% G 10%	ND

H.T: harina de trigo, H.A: harina de amaranto, G: gluten

ND: No detectado

3.11 Evaluación sensorial (prueba de nivel de agrado)

El análisis sensorial (prueba de nivel de agrado) realizado a 94 jueces no entrenados, mostró que el bollo para hamburguesa desarrollado con 70 % harina refinada de trigo, 20 % harina

integral de amaranto y 10 % gluten fue aceptado por el 70.21 % de los consumidores y le otorgaron una calificación de 7.55 (Tabla 32).

Tabla 32. Resultados de prueba de nivel de agrado aplicada a bollo para hamburguesa seleccionado en prueba de preferencia

Bollo para hamburguesa con amaranto	Número de jueces	Calificación	Porcentaje de aceptación
70 % harina refinada de trigo 20 % harina integral de amaranto 10 % gluten	94	7.55	70.21

Los jueces describieron el sabor del bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto como “sabor rico”, “buena textura”, “sabor agradable”, “buena consistencia”, “sabe a amaranto”, etc. (Figura 31).

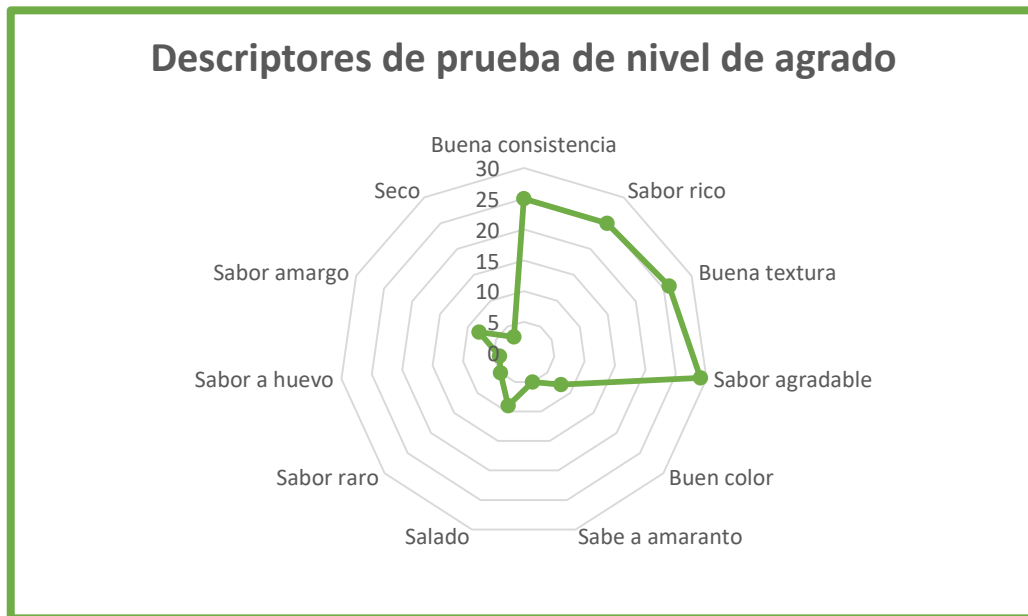


Figura 31. Descriptorios indicados por los jueces para prueba de nivel de agrado

Determinando que el bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto (70 % harina refinada de trigo, 20 % harina integral de amaranto, 10 % gluten) (Figura 32), además de ser un producto con mejor calidad nutricional que un bollo comercial, es un producto

que pudiera tener éxito en el mercado, ya que cumple con las características requeridas por los consumidores, ofreciendo una forma más nutritiva para el consumo de hamburguesas y siendo una opción para contribuir en la lucha contra el problema de obesidad en México.



Figura 32. Bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto (70 % harina refina de trigo, 20 % harina integral de amaranto, 10 % gluten)

CONCLUSIONES

El análisis químico de la materia prima, mostró que la harina integral de amaranto posee un mayor contenido de componentes químicos como proteínas, grasa, cenizas y fibra en comparación a la harina refinada de trigo, por lo que pudieron complementarse en la elaboración de bollos para hamburguesa.

Se pudieron elaborar bollos para hamburguesa complementados con harina integral de amaranto en proporciones de hasta un 50 %, con base en el porcentaje de harina, adicionándole gluten, conservando sus características físicas, panaderas y mejorando sus características sensoriales.

La formulación seleccionada mediante la prueba de preferencia como la mejor en este estudio fue la que contenía 70 % harina refina de trigo, 20 % harina integral de amaranto y 10 % gluten, la cual, presentó mejor calidad nutrimental en comparación a un bollo para hamburguesa comercial, ya que obtuvo un mayor contenido de proteínas, cenizas, grasa, y un menor contenido de carbohidratos, para las propiedades nutrimentales: contenido de triptófano y digestibilidad *in vitro*, no se tuvo diferencia estadísticamente significativa obteniendo para el bollo para hamburguesa comercial 1.08 g Try/100 g de proteína con una digestibilidad de 87.74 % en comparación con el bollo seleccionado que obtuvo 1.066 g Try/100 g de proteína con una digestibilidad de 88.94 %, en los factores anti-nutrimentales tales como taninos y ácido fítico, se presentaron en mayor proporción en el bollo para hamburguesa seleccionado, pudiéndose pensar que son factores negativos hacia el producto, pero se ha presentado que pueden resultar benéficos (en bajas proporciones) para la salud humana.

La aceptación por parte del consumidor del bollo para hamburguesa seleccionado previamente (70 % harina refina de trigo, 20 % harina integral de amaranto y 10 % gluten) fue del 70.21 % y le otorgaron una calificación de 7.55, determinando que el producto no solo posee una buena calidad nutrimental, sino que también puede ser explorada la posibilidad de lanzarla al mercado, otorgándole al público una nueva opción más nutritiva de consumir hamburguesas.

RECOMENDACIONES

Para prolongar la vida útil del producto se recomienda adicionar en la formulación algún tipo de conservador.

Se recomienda realizar un análisis microbiológico para determinar la inocuidad del producto, ofreciendo al consumidor seguridad alimentaria.

También se recomienda realizar un estudio de mercado más detallado, para determinar la opinión de los consumidores y si estarían dispuestos a adquirirlo si es que existiera en el mercado y junto con ello llevar a cabo un estudio de factibilidad financiera, para conocer si sería rentable su producción.

BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. (2005). *Official Methods of Analysis*. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists-International Gaithersburg, Maryland, USA.
- Aproinppa. (2012). Panadería y pastelería artesana (en línea). Consultado 21 octubre, 2015. Disponible en http://www.aproinppa.es/es/entorno/historia_panaderia
- Bakery. (2015). El mundo fantástico de la repostería (en línea). Consultado 29 septiembre. Disponible en <https://sites.google.com/a/misena.edu.co/mr-bakery-and-pastry/ingredientes>
- Badui, D. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson Educación. 4ta ed. México.
- Barrera, A., Rodríguez, A., & Molina, M. (2013). Escenario actual de la obesidad en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, 51(3), 292-299.
- Bascón, J. (2012). El cuadernillo de sociales (en línea). Consultado 21 octubre, 2015. Disponible en http://juanbascon.blogspot.mx/2012_05_01_archive.html
- Boucher, F., & Muchnik, J. (1995). *Agroindustria Rural: Recursos Técnicos y Alimentación*. Bib. Orton IICA/CATIE.
- Bressani, R. (2012). El amaranto y su potencial en la industria alimentaria. *Alimentos Hoy*, 7(7), 15-19.
- Cabrera, A. (2007). Desarrollo de una formulación para de pasta para sopa tipo tallarín a base de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Calaveras, J. (2004). *Nuevo tratado de panificación y bollería*. AMV Ediciones. 2da ed. Madrid, España.
- CANIMOLT. (2015). Trigo (en línea). Consultado 21 septiembre. Disponible en <http://www.canimolt.org/trigo>
- Chaparro, D., Pismag, R., Elizalde, A., Vivas, N., & Erazo, C. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), 35-42.

- Contreras, E., Jaimez, J., Soto, J., Castañeda, A., & Añorve, J. (2011). Aumento del contenido proteico de una bebida a base de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Revista chilena de nutrición*, 38(3), 322-330.
- Club planeta. (2015). Origen del amaranto y su producción en México (en línea). Consultado 21 septiembre. Disponible en http://www.clubplaneta.com.mx/cocina/origen_del_amaranto_y_su_produccion
- Cutullé, B., Berruti, V., Campagna, F., Colombaroni, M., Robidarte, M., Wiedemann, A., & Vázquez, M. (2012). Desarrollo y evaluación sensorial de galletitas de jengibre con sustitución parcial de harina de trigo por harina de arroz y lenteja (Gallentinas). *Diaeta*, 30(138), 25-31.
- Cruz, H. (2015). Elaboración de un bagel a base de trigo y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) con alta calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Díaz, A. (2014). Desarrollo de una formulación para elaborar una dona de trigo horneada complementada con amaranto. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Díaz, P., Dalla, M., Vázquez, D., & Castro, M. (2006). Elementos de análisis cualitativo y cuantitativo en proteínas del gluten de trigo. *Agricultura Técnica*, 66(4), 360-369.
- Dyner, L., Drago, R., Piñeiro, A., Sánchez, H., González, R., Villaamil, E., & Valencia, E. (2007). Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harinas de trigo y amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(1), 69-77.
- Elizalde, A., Pismag, Y., & Chaparro, D. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45-54.
- FAO. (2015). Los globalimentos (en línea). Consultado 20 octubre. Disponible en <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/012/ak794s/ak794s06.pdf>
- Fournier, M., Ostos, A. (2015). Comida yucateca: Fusión de culturas gastronómicas. 500 años de historia culinaria (en línea). Consultado 20 octubre. Disponible en <http://www.historiacocina.com/paises/articulos/mexico>
- Gil, A. (2010). *Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos* (Vol. 2). Ed. Médica Panamericana.

- Haug, W., Lantzsch, H., (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. *J. Sci. Food Agric*, 34, 14232-14261
- Hsu, H., Vavak, I., Satterlee & Miller, G. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal Food Science and Technology*, 42(5), 1269-1273.
- Hernández, A. G. D. (2010). Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos (Vol. 2). Ed. Médica Panamericana.
- Hevia, F., Berti, M., & Wilckens, R. (2002). Contenido de proteína y algunas características del almidón en semillas de amaranto (*Amaranthus spp.*) cultivado en Chillan, Chile. *Agro Sur*, 30(1), 24-31.
- InfoAgro. (2015). El cultivo del trigo (en línea). Consultado 29 septiembre. Disponible en <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>
- INEGI. (2015). Banco de Información Económica (en línea). Consultado 22 septiembre. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Secretaria de Salud. (2015). Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos: Evaluación sensorial (en línea). Consultado 25 septiembre. Disponible en <http://www.innsz.mx/opencms/contenido/departamentos/tecalimentos/evaluaciones>
- ISO 9648; (1988). Determinación del contenido de taninos en sorgo. *International Organization of Standardizations*, ISO/DIS 9648, 175-215.
- Jaguars. (2015). Clasificación de los alimentos (en línea). Consultado 21 octubre. Disponible en <http://somosjaguars.com/concurso/el-tema-de-hoy/401-2/>
- Juárez, Z. N., Bárcenas, M., & Hernández, L. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 8(1), 79-93.
- Kakade, M., Rackis, J., McGhee, J., & Puski, G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem*, 51, 376-381.
- Lezcano, A. (2015). Análisis de producto. Productos panificados. Alimentos Argentinos, Argentina.

- López, L., Dyner, L., Vidueiros, S., Pallaro, A., & Valencia, M. (2010). Determinación del contenido de gliadinas en alimentos elaborados con amaranto, quínoa y/o chía. *Revista Chilena de Nutrición*, 37(1), 80-86.
- Mataix, J. (2003). *Tabla de composición de alimentos*. 4ª edición. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos, Universidad de Granada.
- Mesas, J., & Alegre, M. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *CYTA-Journal of Food*, 3(5), 307-313.
- Molina, C. (2013). *Alimentos sin gluten derivados de Cereales*. OmniaScience Monographs. Barcelona, España. 447-461.
- Montero, K., Rojas, R., & Molina, E. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos. *Interciencia*, 40(7), 473-478.
- Montes, R., Carpio, L., Carrillo, G., & Pola, G. (2010). Evaluación biológica de alimentos nutricionalmente mejorados en ratas Wistar. *Lacandonia*, 4(2).
- Murcia, J. (2011). El pan en la base de la dieta mediterránea. *Distribución y Consumo*, 21(115), 64-68.
- Murray, M., Pizzorno, J., & Pizzorno, L. (2005). *The encyclopedia of healing foods*. Simon and Schuster.
- Mosquera, M., Pacheco, J., & Martínez, I. (2012). Diseño de una línea de producción para la elaboración de pan a partir de la harina de amaranto (*Amaranthus hybridus*) y harina de arroz (*Oryza sativa*) para celíacos. Tesis de grado. Universidad Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Nieto, C. (1989). *El cultivo de amaranto, Amaranthus spp, una alternativa agronómica para Ecuador*. Departamento de comunicación social y relaciones públicas de la INIAP. Quito, Ecuador.
- NMX-F-516-1992. Alimentos. Productos de panificación. Clasificación y definiciones. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados. Cereales. Trigo. (*Triticum Aestivum L.* y *Triticum Durum Desf.*). Especificaciones y métodos de prueba. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- Nollet, L. (1996). *Handbook of Food Analysis*. 2ª ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.

- Ortega, E. (2012). El amaranto-pequeñas semillas con fuerzas colosales (en línea). Consultado 21 octubre, 2015. Disponible en http://www.el-pan-alegre.org/Guia_Amaranto.pdf
- Osca, J. (2007). *Cultivos herbáceos extensivos: cereales*. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial de la UPV. Valencia, España.
- Pan casero. (2015). Pan casero de hamburguesa (en línea). Consultado 21 octubre. Disponible en <http://pancasero.net/pan-casero-de-hamburguesa/>
- Pichardo, J., Jiménez, V., & Martínez, E. (2013). Influencia del deterioro de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) provocado por un almacenamiento inadecuado sobre su calidad nutrimental. XV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología e Alimentos. Colima, Colima.
- Rama, M., Tara, R., Krishnan, C., (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology*. 11, 213-216
- Ramírez, J. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista ReCiTeIA*.
- Rimache, M. (2008). *Cultivo del trigo, cebada y avena* (No. F01 R56).
- Rosado, J., Camacho-Solís, R., & Bourges, H. (1999). Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Salud Pública de México*, 41(2), 130-137.
- Roybal, M. (2012). Espiga trigo (en línea). Consultado 21 octubre, 2015. Disponible en <http://www.imagui.com/a/espiga-trigo-T7earrjeB>
- Sánchez, C. (2010). El amaranto. *Política de Estado para la Educación Superior*, 2(4).
- SAGARPA. (2011). Perspectiva de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011-2020 (en línea). Consultado 12 septiembre, 2015. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents>
- Salas, J. (2010). Diseño de un túnel de enfriamiento para una máquina formadora de palanquetas de amaranto con chocolate. Tesis de licenciatura. Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Sánchez, H., Osella, C., & De La Torre, A. (1996). Desarrollo de una fórmula para pan sin gluten. *Información Tecnológica*, 7(2), 35.

- Sanz, P., Wronkowska, M., Soral, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 679-685.
- Sanz, P. (2011). Desarrollo de panes especiales con harina integral de amaranto. Tesis de máster en gestión y seguridad alimentaria. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Sebess, P. (2014). *Master Chef técnicas de panadería profesional*. Mausi Sebess, E-Book. Buenos Aires, Argentina.
- Serna, S. (2013). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. 2da edición, A.G.T. Editor, S.A. México, D.F.
- SHCP. (2014). Panorama del trigo (en línea). México, D.F. Consultado 27 septiembre 2015. Disponible en <http://www.financierarural.gob.mx/>
- SIAP. (2014). Bueno como el pan (en línea). Consultado 27 septiembre, 2015. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/trigo-grano/>
- SINEFARI. (2015). Red amaranto (en línea). México, Tlalnepantla. Consultado 1 octubre. Disponible en http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_amaranto.html#cajaUsos
- Stubbs, R., Prescott, J., Saari, E., & Dubin, H. (1986). *Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales*. CIMMYT. México, D.F.
- Solano, R. (2002). Cuantificación del contenido de ácido fítico en cuatro harinas del grano de amaranto obtenidas con diferentes tratamientos y en el grano sin tratar. Tesis de licenciatura. Química y Farmacia. Universidad de el Salvador. Facultad de Química y Farmacia. San Salvador, el Salvador.
- Sosa, M. (2011). Optimización de la aceptabilidad sensorial y global de productos elaborados con amaranto destinados a programas sociales nutricionales. Tesis de doctorado. Doctor en Ciencias Exactas, área Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Argentina.
- Sotelo, A., Mendoza, J., & Argote, R. (2002). Contenido de ácido fítico en algunos alimentos crudos y procesados. Validación de un método colorimétrico. *Revista de la Sociedad Química de México*, 46(4), 301-306.
- Tejero, F. (2013). Asesoría Técnica en Panificación: Los azúcares en las masas fermentadas (en línea). Consultado 30 septiembre, 2015. Disponible en http://franciscotejero.com/?s=mejorante&themedemo=&btn_search=

- Terán, W., Vilcacundo, R., & Carpio, C. (2015). Compuestos bioactivos derivados de amaranto y quinua. *Actualización en Nutrición*, 16(1), 18-22.
- Torres, K. (2014). Desarrollo de una formulación de pasta para lasaña a base de harina de amaranto para mejorar su calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Villar, L., (2015). Cultivo de trigo. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Compilación (en línea). Consultado 22 octubre. Disponible en <https://bibliotecadeamag/Cultivo+de+Trigo.pdf>
- Villegas, J. (2015). Los cereales y el gluten (en línea). Consultado 21 octubre. Disponible en <http://dieta-paleolitica.blogspot.mx/2015/05/los-cereales-y-el-gluten.html>
- White, E. (2011). Curiosidades nutritivas (en línea). Consultado 21 octubre, 2015. Disponible en <http://www.curiosidadesnutritivas.com/2011/10/pequenas-semillas-grandes-beneficios-el.html>
- Yepez, J. (2013). Evaluación de propiedades físicas y texturales del pan grande de Acámbaro tipo tallado de siete diferentes fabricantes. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.

ANEXOS

1. Prueba de preferencia

PRUEBA SENSORIAL DE PREFERENCIA

Edad: _____ Sexo: H M Fecha: _____

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

INSTRUCCIONES: Pruebe las muestras y ordene según su preferencia, otorgándole un valor del 1 al 4, considerando que 1= es la que menos gusta y 4= es la que más gusta. No se permiten empates. En el espacio de abajo, explique brevemente porque tomo esa decisión.

MUESTRAS	0601	3106	1202	0408
VALOR	_____	_____	_____	_____

¿Porqué?

_____ ¡GRACIAS!

Claves utilizadas

Muestra	Clave
Trigo-Amaranto-Gluten (70-20-10%)	0601
Trigo-Amaranto-Gluten (60-30-10%)	3106
Trigo-Amaranto-Gluten (50-40-10%)	1202
Trigo-Amaranto-Gluten (40-50-10%)	0408

1.1 Resultados prueba sensorial de preferencia

Juez (n)	0601	3106	1202	0408
1	4	3	2	1
2	4	3	1	2
3	4	1	2	3
4	1	4	3	2
5	4	1	3	2
6	1	4	3	2
7	4	3	2	1
8	2	3	4	1
9	2	1	3	4
10	4	3	1	2
11	2	1	4	3
12	1	4	3	2
13	3	4	2	1
14	2	4	3	1
15	2	1	4	3
16	1	3	2	4
17	1	3	4	2
18	2	3	4	1
19	1	2	4	3
20	4	1	2	3
21	3	1	2	4
22	4	2	1	3
23	3	2	1	4
24	1	4	2	3
25	4	2	3	1
26	1	2	4	3
27	4	3	2	1
28	4	2	1	3
29	1	4	3	2
30	1	2	4	3
31	2	4	3	1
32	1	3	2	4
33	1	2	3	4
34	4	3	1	2
35	2	3	1	4

36	3	1	2	4
37	4	3	2	1
38	1	2	4	3
39	2	3	4	1
40	4	1	2	3
41	1	2	3	4
42	3	2	4	1
43	3	1	4	2
44	4	2	1	3
45	3	4	1	2
46	3	2	1	4
47	1	2	4	3
48	1	3	4	2
49	4	1	3	2
50	3	2	1	4
51	4	3	1	2
52	4	2	1	3
53	4	3	2	1
54	2	4	3	1
55	2	1	4	3
56	4	2	1	3
57	4	3	1	2
58	4	3	2	1
59	1	3	4	2
60	3	2	4	1
61	1	2	4	3
62	4	3	1	2
63	2	3	1	4
64	4	3	1	2
65	3	1	2	4
66	4	1	2	3
67	3	1	2	4
68	4	3	2	1
69	2	3	1	4
70	4	3	1	2
71	3	4	2	1
72	4	3	1	2
73	3	2	4	1
74	3	1	4	2

75	2	4	1	3
76	1	4	3	2
77	2	1	3	4
78	2	1	3	4
79	3	2	1	4
80	4	2	1	3
81	4	3	2	1
82	2	1	3	4
83	2	3	4	1
84	4	1	3	2
85	2	1	3	4
86	3	2	1	4
87	1	3	4	2
88	3	4	1	2
89	4	2	1	3
90	4	3	2	1
91	1	2	3	4
92	1	2	3	4
93	2	3	4	1
94	4	3	2	1
95	4	3	2	1
96	3	4	2	1
97	2	4	1	3
98	3	4	1	2
99	1	3	4	2
100	2	4	3	1
101	1	4	3	2
102	1	3	2	4
Puntuación	269	257	246	248

2. Prueba de nivel de agrado

PRUEBA SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO

Edad: _____ Sexo: H M Fecha: _____

NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba.

INSTRUCCIONES: Pruebe el bollo para hamburguesa y sobre la línea indique con una “X” su nivel de agrado hacía el producto. En el espacio de abajo, explique brevemente porque tomo esa decisión.

Escala

Disgusta mucho

Es indiferente

Gusta mucho

¿Porqué?

¡GRACIAS!

Escala utilizada

Calificación:

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

2.1 Resultados prueba sensorial de preferencia

Juez (n)	Calificación
1	10
2	10
3	10
4	10
5	10
6	10
7	10
8	10
9	10
10	10
11	10
12	10
13	10
14	10
15	10
16	10
17	10
18	10
19	10
20	10
21	10
22	10
23	10
24	10
25	10
26	10
27	10
28	10
29	10
30	10
31	10
32	10
33	10
34	9.8
35	9.8
36	9.7
37	9.6

38	9.5
39	9.4
40	9.3
41	9.1
42	9
43	8.9
44	8.8
45	8.7
46	8.6
47	8.5
48	8.4
49	8.3
50	8
51	7.9
52	7.8
53	7.8
54	7.7
55	7.6
56	7.5
57	7.5
58	7.5
59	7.5
60	7.4
61	7.3
62	7.3
63	7
64	6.8
65	6.5
66	6.5
67	5.8
68	5.6
69	5.4
70	5.1
71	5
72	5
73	5
74	5
75	5
76	5
77	5
78	5

79	5
80	5
81	5
82	5
83	5
84	4.9
85	4.5
86	3.5
87	3.2
88	2.2
89	2.2
90	1.3
91	0.4
92	0
93	0
94	0
Promedio	7.554255319

Porcentaje de aceptación = 70.21 % Calificación = 7.55