



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

Elaboración de pan con amaranto y bagazo obtenido a partir de cerveza artesanal tipo weizen

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A N:

MARTÍNEZ ARVIZU ROCIO GUADALUPE

NARANJO BAÑOS JOSELINE

ASESOR: DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE

COASESOR: I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

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

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

Elaboración de pan con amaranto y bagazo obtenido a partir de cerveza artesanal tipo weizen.

Que presenta la pasante: **Rocio Guadalupe Martínez Arvizu.**

Con número de cuenta: **415086794** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos.**

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de mayo de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.A.D. Fernando Flores Benítez	
VOCAL	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
2do. SUPLENTE	Dra. María Elena Pahua Ramos	

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

MCVB/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DRA. DAVID QUINTANAAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

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



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

Elaboración de pan con amaranto y bagazo obtenido a partir de cerveza artesanal tipo weizen.

Que presenta la pasante: **Joseline Naranjo Baños**
Con número de cuenta: **415000815** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos**

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de mayo de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.A.D. Fernando Flores Benítez	
VOCAL	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
2do. SUPLENTE	Dra. María Elena Pahua Ramos	

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

MCVB/javg

A decorative graphic on the left side of the page features several golden-yellow wheat stalks and grain. One stalk curves upwards from the bottom left, while another curves downwards from the top left. To the right, there are two smaller wheat heads with awns. The background is white.

Esta tesis se realizó con el apoyo del proyecto DGAPA-PAPIME 200522 “Mejoramiento de la enseñanza teórico-practico mediante un aula y laboratorio virtual en el taller Multidisciplinario de Procesos Tecnológicos de Cereales de la carrera de Ingeniería en alimentos de FES-Cuautitlán”.

Se agradece el apoyo del programa de investigación “Cambios moleculares generados durante el almacenamiento de granos no convencionales en la elaboración de alimentos procesados” con clave CI 2253 de la FES-Cuautitlán de la UNAM.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por permitirnos estudiar nuestra licenciatura y formar parte de esta gran institución. A **FES- Cuautitlán** por enseñarnos por medio de sus docentes, agradezco todo lo que nos apoyaste en esta etapa de nuestra vida.

Al **Doctor Enrique** gracias por permitirnos formar parte de su equipo de trabajo y dejarnos hacer la tesis en su laboratorio, por confiar en nosotras, apoyarnos, tenernos paciencia, y guiarnos durante todo el proceso.

A la profesora **Verónica**, por su apoyo durante la parte experimental de este proyecto.

Nuestros **sinodales** gracias por el tiempo que le dedicaron a la revisión de esta tesis

Arturo becario, gracias por apoyarnos durante tu estancia en el laboratorio

DECICATORIAS

“La familia y las amistades son dos de los mayores facilitadores de la felicidad”.

John C. Maxwell

A mi mamá **Marisela** eres la persona que más admiro, gracias por demostrarme que no hay nada imposible en esta vida.

A **Victor** eres el mejor papá, gracias por confiar en mí durante todo este tiempo, por acompañarme en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos **Fernando, Hugo y Aby**, por ser los mejores, les agradezco el apoyo que siempre me han brindado, por demostrarme su cariño de tantas formas, por estar conmigo en las buenas y en las malas.

Le agradezco a dios por darme está familia y aunque no somos perfectos siempre estamos juntos. Gracias a todos por apoyarme en cada una de mis decisiones, por darme las herramientas para luchar por mis sueños y nunca darme por vencida. LOS QUIERO CON TODO MI CORAZÓN

A **Nancy Baena** por ser una gran amiga durante todos estos años, gracias a toda tu familia por hacernos parte de ella.

A **Joseline**, gracias por todo el tiempo que le hemos dedicado a la tesis.

A **mis amigos** de la universidad, a cada uno de ellos que siempre estuvieron conmigo por hacer esta etapa de mi vida una de las mejores, aunque no todo fue perfecto durante la carrera con su amistad lo hacía más fácil.

Rocio.

DEDICATORIAS

Existen tantas definiciones de éxito como individuos en el mundo, y es que para cada uno esta palabra representa algo distinto; para algunos, aprendizaje; para otros, esfuerzo constante, o la suma de pequeñas acciones para alcanzar un fin determinado.

Y aunque estoy segura que me restan incontables objetivos por cumplir, la culminación de esta etapa representa para mí un éxito, por ello quiero reconocer a las personas más valiosas de mi vida, porque sin su esfuerzo, apoyo, motivación y cariño no habría conseguido llegar a ser quién soy ahora.

*A mis padres, **Luz María y Guillermo**, por creer en mí siempre, por impulsarme a no rendirme, por ser mi más grande ejemplo de vida; gracias por todos sus consejos, sus cuidados, sus desvelos, su esfuerzo y sus oraciones. Los amo inmensamente. Me lo han dado todo.*

*A mis hermanos, **Ricardo y Gabriel**, por ser los compañeros más maravillosos que Dios me dio; gracias por apoyarme en todo, por sus enseñanzas, su buen corazón, las risas y los abrazos al regresar a casa. Los amo y los admiro profundamente.*

*A los **amigos** que me deja esta hermosa carrera, por hacer de esta una etapa tan especial; gracias a quienes hoy están cumpliendo otros sueños y a quienes se quedaron hasta el final de este camino y esta obra, por hacer más amenas las noches en vela, por su paciencia, comprensión y apoyo; por tenderme una mano siempre que lo necesité, por abrirme las puertas de su hogar y hacerme participe también de sus logros.*

Joseline.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I. ANTECEDENTES	
1.1. Historia del pan y la cerveza	1
1.2. Cerveza	2
1.2.1. Origen	2
1.2.2. Definición	3
1.2.3. Producción	3
1.2.4. Clasificación y tipos de cervezas	5
1.2.5. Cerveza artesanal	6
1.2.6. Materias primas de una cerveza	7
1.2.6.1. Cebada	7
1.2.6.2. Agua	8
1.2.6.3. Lúpulo	8
1.2.6.4. Levadura	9
1.2.6.5. Adjuntos	10
1.2.7. Proceso de elaboración de cerveza	10
1.2.7.1. Bagazo	16
1.3. Panificación	17
1.3.1. Tipos de procesos	17
1.3.2. Principales etapas del proceso	18
1.3.3. Productos elaborados	20
1.3.3.1. Baguette	21
1.3.4. Materias primas	22
1.4. Trigo	23
1.4.1. Producción en México	24
1.4.2. Clasificación taxonómica y variedades	25
1.4.3. Morfología del grano de trigo	26
1.4.4. Composición química	27
1.4.4.1. Gluten	28
1.4.5. Harina de trigo	29
1.5. Amaranto	30
1.5.1. Taxonomía, botánica y descripción de la planta	31
1.5.2. Morfología del grano de amaranto	33
1.5.3. Producción	34
1.5.4. Composición química	35

1.5.5. El amaranto como alimento funcional	37
1.6. Compuestos funcionales	39
1.6.1. Fibra dietética	39
1.6.2. Almidón total, digerible y resistente	40
1.6.3. Compuestos fenólicos	41
1.6.4. Capacidad antioxidante	42
1.7. Factores antinutrimientales	43
1.7.1. Ácido Fítico	43
1.7.2. Inhibidores de tripsina	43
1.7.3. Taninos	44

CAPITULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Objetivos	45
2.1.1. Objetivo general	45
2.1.2. Objetivos particulares	45
2.2. Cuadro metodológico	47
2.3. Materiales biológicos	48
2.4. Elaboración de baguette	50
2.5. Diagrama de proceso	50
2.5.1. Descripción del proceso	51
2.6. Pruebas fisicoquímicas de la cerveza	56
2.6.1. %Alc. Vol. Porcentaje de alcohol en volumen	56
2.6.2. °Brix	57
2.6.3. Densidad	57
2.7. Pruebas físicas del pan	58
2.7.1. Volumen	58
2.7.2. Peso	59
2.7.3. Dimensiones	59
2.8. Composición química	60
2.8.1. Humedad	60
2.8.2. Proteínas	61
2.8.3. Grasa	62
2.8.4. Cenizas	63
2.8.5. Fibra cruda	64
2.8.6. Carbohidratos	65
2.9. Pruebas de preferencia	65
2.10. Análisis químico proximal	66
2.11. Calidad nutrimental	66
2.11.1. Cuantificación de triptófano	66
2.11.2. Digestibilidad <i>in vitro</i>	67
2.11.3. Almidón total	68
2.11.4. Relación de eficiencia proteica	69
2.11.5. Digestibilidad <i>in vivo</i>	70
2.12. Calidad Funcional	71
2.12.1. Fibra dietética	71
2.12.2. Capacidad antioxidante	72

2.12.3. Compuestos fenólicos	73
2.12.4. Almidón resistente	74
2.13.1. Taninos	75
2.13.2. Ácido Fítico	76
2.13.3. Inhibidores de tripsina	77
2.14. Prueba de nivel de agrado	79
2.15. Análisis estadístico	79
CAPITULO III. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
3.1. Pruebas físicas de la cerveza	80
3.2. Análisis de las materias primas	81
3.2.1. Análisis químico proximal de las harinas	81
3.2.2. Calidad nutrimental de las harinas	82
3.2.3. Evaluación de compuestos funcionales en las harinas	84
3.2.4. Análisis químico proximal de malta y bagazo de cerveza	86
3.2.5. Calidad nutrimental y funcional de malta y bagazo	87
3.3. Pruebas físicas del pan	89
3.4. Prueba de preferencia	92
3.5. Análisis químico proximal de la formulación seleccionada y muestra control	93
3.6. Evaluación funcional y nutrimental de la muestra seleccionada y control	95
3.7. Relación de eficiencia proteica (PER) y digestibilidad <i>in vivo</i>	99
3.8. Factores antinutrimientales	101
3.9. Prueba de nivel de agrado	102
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	105
REFERENCIAS	106
ANEXO	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cervecería Cuauhtémoc	3
Figura 2. Producción mundial de cerveza en millones de hectólitros	4
Figura 3. Estados productores en México	4
Figura 4. Cerveza Weizen	6
Figura 5. Variedad de cebadas	7
Figura 6. Planta de lúpulo	9
Figura 7. Levadura	10
Figura 8. Tipos de malta	12
Figura 9. Etapa de maceración	13
Figura 10. Fermentación del mosto	15
Figura 11. Envasado	15
Figura 12. Elaboración de Baguette	21
Figura 13. Producción anual de trigo 2017-2018	24
Figura 14. Planta de trigo	25
Figura 15. Morfología del grano de trigo	26
Figura 16. A Caudatus	32
Figura 17. A Cruentus	32
Figura 18. A. hypochondriacus	32
Figura 19. Morfología del grano de amaranto	34
Figura 20. Molienda del amaranto	51
Figura 21. Maceración	52
Figura 22. Filtrado	52
Figura 23. Enfriamiento del mosto	53
Figura 24. Fermentación	53
Figura 25. Sellado	54
Figura 26. Maduración	54

Figura 27. Mezclado	54
Figura 28. Fermentación	55
Figura 29. Suajado	55
Figura 30. Horneado	56
Figura 31. Enfriado	56
Figura 32. Lectura del hidrómetro.	57
Figura 33. Densímetro	58
Figura 34. Panvolumenómetro	59
Figura 35. Balanza	59
Figura 36. Vernier Digital	60
Figura 37. Estufa	60
Figura 38. Micro Kjeldahl	62
Figura 39. Método Soxhlet	63
Figura 40. Mufla	64
Figura 41. Fibra Cruda	65
Figura 42. Prueba de preferencia	66
Figura 43. Digestibilidad in vitro	68
Figura 44. Material biológico de estudio PER	69
Figura 45. Fibra dietética	72
Figura 46. Determinación de capacidad antioxidante	73
Figura 47. Almidón resistente	75
Figura 48. Taninos	76
Figura 49. Ácido fítico	77
Figura 50. Inhibidores de tripsina	78
Figura 51. Gráfico de nivel de agrado	103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del bagazo	16
Tabla 2. Composición química proximal del grano de trigo	27
Tabla 3. Composición química de harina de trigo	29
Tabla 4. Composición química del grano de amaranto	36
Tabla 5. Contenido de aminoácidos esenciales en el grano de amaranto	37
Tabla 6. Materiales biológicos de la cerveza	48
Tabla 7. Materiales biológicos para elaborar baguette	49
Tabla 8. Formulación control	50
Tabla 9. Etapas de maceración	51
Tabla 10. Pruebas físicas de la cerveza artesanal tipo Weizen con amaranto	80
Tabla 11. Análisis químico proximal de la materia prima harinas de amaranto y trigo	81
Tabla 12. Parámetros de calidad nutrimental en harina de trigo Tres estrellas® y harina integral de amaranto	83
Tabla 13. Resultados de los parámetros funcionales determinados en harina de trigo Tresestrellas® y harina integral de amaranto	84
Tabla 14. Resultados del análisis químico proximal de malta y bagazo de la cerveza tipo Weizen con amaranto	86
Tabla 15. Resultados de parámetros de calidad nutrimental en malta y bagazo de cerveza	87
Tabla 16. Resultados de la evaluación funcional de la malta y bagazo	88
Tabla 17. Formulaciones propuestas para elaboración del baguette	90
Tabla 18. Resultados de los parámetros físicos evaluados en los baguettes elaborados condiferentes formulaciones	91
Tabla 19. Resultados de la prueba de preferencia	92
Tabla 20. Resultados del análisis químico proximal de la muestra control y formulación seleccionada	93
Tabla 21. Resultados de los parámetros nutrimentales de la muestra control y formulación seleccionada	95
Tabla 22. Resultados de compuestos funcionales en la muestra control y formulación seleccionada	97
Tabla 23. Resultados de PER y digestibilidad <i>in vivo</i>	99
Tabla 24. Resultados de la determinación de factores antinutrimientales en la muestra control y seleccionada	101
Tabla 25. Resultados de la prueba sensorial de nivel de agrado	103

RESUMEN

La cerveza y el pan tienen un vínculo desde la antigüedad donde a la cerveza se le conocía como pan líquido, porque ambos comparten algunos ingredientes y procesos; como la levadura y la fermentación. La industria cervecera genera grandes cantidades de desechos como el bagazo, también conocido como grano gastado, siendo el residuo más producido en este proceso, actualmente el bagazo es reutilizado como alimento para ganado (forraje), sin embargo, este desecho se distingue por su alto contenido de fibra y proteínas, por eso en los últimos años se ha intentado incorporarlo en diferentes productos de panificación. Existen diferentes tipos de panes, entre los que se encuentra el baguette que se caracteriza por tener un largo aproximado de 20cm, con una corteza suave y miga blanda, es un producto fácil de combinar con otros alimentos. Las baguettes están elaboradas principalmente de harina refinada de trigo que tiene un aporte nutrimental limitado, para mejorar esto se está complementando con diferentes granos o cereales para aumentar su calidad nutrimental, uno de ellos es el amaranto, que es un pseudocereal con alto valor nutrimental. Es por esto, que el objetivo de este trabajo es desarrollar un baguette con amaranto y bagazo obtenido a partir de elaboración de cerveza para aprovechar los residuos. Se propuso incorporar harina de amaranto evaluando diferentes porcentajes de harina (20, 35 y 50%) así como bagazo, pero este se mantuvo constante en todas las formulaciones, a los baguettes obtenidos se les realizaron pruebas físicas como dimensiones, peso y volumen específico y junto con una prueba de preferencia se seleccionó la mejor formulación. A la formulación seleccionada se le realizó un análisis químico proximal, nutrimentales (digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, relación de eficiencia proteica, cuantificación de triptófano y cuantificación de almidón total y digerible) y funcional (compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, fibra dietética y almidón resistente), así como factores antinutrimientales (taninos, ácido Fítico e inhibidores de tripsina) y por último se realizó una prueba de nivel de agrado. La formulación seleccionada fue la que contenía 35% harina de amaranto y 55% harina de trigo. Los resultados que se obtuvieron al realizar un AQP del producto, mostraron un aumento significativo en el porcentaje de proteína y fibra. En lo referente a la calidad funcional del baguette con amaranto, los resultados presentaron un incremento de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en comparación con el pan control que está elaborado con harina de trigo. Para las pruebas antinutrimientales, se detectaron ácido Fítico y taninos presentes en el baguette, pero a concentraciones que no causan efectos negativos en el producto mientras que los inhibidores de tripsina no fueron detectados. La evaluación de nivel de agrado que se le realizó al baguette reportó una aceptación del 70% lo que es un porcentaje adecuado para un producto de nuevo desarrollo.

INTRODUCCIÓN

Dos de los procesos más antiguos con gran importancia actual son la producción de cerveza y pan. La cerveza se ha posicionado como la bebida alcohólica por excelencia y es la más consumida alrededor del mundo (PROFECO, 2018). Su base fundamental es la fermentación alcohólica de productos vegetales, principalmente cebada, aunque existen tendencias de incluir otros granos, uno de estos es el trigo, que se añade como adjunto modificando sus características organolépticas, a las cervezas con trigo se les conoce como Weizen (Cultura cervecera, 2019). Actualmente México ocupa el cuarto lugar en producción mundial de cerveza, con 105 millones de hectolitros anuales (Quiroga, 2017). La alta producción de esta bebida genera a su vez enormes cantidades de subproductos procedentes del proceso, el más importante es el bagazo. Se llama así al grano gastado resultante de las etapas de maceración y filtración (Ferrari *et al.* 2017). Representa el 85% de los subproductos totales, obteniéndose cerca de 20 kg por cada 100 litros de cerveza producida. Hoy en día, con la creciente presión política y social para tener un menor impacto ambiental, se buscan estrategias que reutilicen los residuos de actividades industriales, empleándolos como materias primas en otros procesos. En el caso del bagazo, se usa principalmente como forraje para ganado, sin embargo, se ha descubierto su valor nutricional por su alto contenido de proteínas y fibra dietética, es por ello que se ha optado por incluirlo en la elaboración de productos panificables (Ikram *et al.*, 2017; Tamsen *et al.*, 2018).

Por otra parte, el pan es un alimento básico en la dieta de muchas culturas. En México la industria de la panificación es una de las más importantes en el sector alimentario. De acuerdo con la CANAINPA, el consumo per cápita anual de pan es de 33.5 kg de los cuales entre el 70% y 75% corresponde a pan blanco, un ejemplo es el Baguette, que ha adquirido gran aceptación entre la población mundial por su versatilidad convirtiéndose en uno de los favoritos de los mexicanos en las fiestas decembrinas (Collar, 2016).

Tanto el pan como la cerveza se obtienen a través de cereales; para el pan, el trigo, y la cebada para la cerveza, sin embargo, el trigo, como ya se mencionó, se ha incluido también en la elaboración de cerveza. La importancia del trigo está en la industria de panificación, pero se ha comprobado que no tiene gran aporte nutricional a los alimentos donde se incluye, ya que

generalmente se utiliza en forma de harina refinada cuyo aporte principal es almidón. Puesto a que estos productos son de alto consumo contribuyen a una mala alimentación, lo que ha tenido consecuencias negativas en la salud de la población, como es un aumento en obesidad y sobrepeso (Osella *et al.*, 2006). Derivado de esta problemática, existe una preocupación por el consumo de alimentos más saludables, ejemplo de ello son los llamados alimentos funcionales. Se caracterizan por aportar elementos que ayuden al organismo a mejorar algunas de sus funciones o reducir el riesgo de enfermedades crónicas (Leidi *et al.*, 2018). Tal es el caso del amaranto, este pseudocereal tiene buen porcentaje de proteínas que supera al de la leche; es rico en aminoácidos esenciales como lisina; contiene ácidos grasos y escualeno, además de que es fuente de fibra dietética, la cual se relaciona con disminución del riesgo de aparición de enfermedades cardiovasculares, obesidad y diabetes tipo 2 (Chmelík, *et al.*, 2019; García, 2012). Es por ello que este grano se considera como alimento funcional y actualmentese usa como complemento en productos de panificación, para mejorar la calidad del pan.

Con base en lo expuesto anteriormente, en este trabajo se propone desarrollar una formulación para elaborar un pan tipo baguette a base de una mezcla de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto, además, usar bagazo como materia prima, el cual se obtendrá del proceso artesanal de elaboración de cerveza tipo weizen con adición de amaranto con el fin de mejorar su calidad nutrimental. Primero se analizarán las materias primas (cebada, bagazo, harina de trigo y harina de amaranto) mediante análisis químico y determinación de parámetros nutrimentales y funcionales (cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro e in vivo*, almidón digerible, relación de eficiencia proteica, fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos) para determinar su compatibilidad en la elaboración del baguette. Posteriormente se realizará una muestra control de baguette elaborado con 100% harina de trigo, y 3 formulaciones que incluyan harina de amaranto en distintas proporciones (20, 35, y 50%) de las cuales se seleccionará la mejor mediante una prueba de preferencia. Una vez seleccionada, se le realizará un análisis químico proximal y se determinarán los mismos parámetros nutrimentales y funcionales que a las materias primas, así mismo, se determinarán factores antinutrimientales (taninos, ácido Fítico e inhibidores de tripsina) y finalmente una prueba sensorial de nivel de agrado para conocer la aceptación por parte de los consumidores hacia el producto elaborado.

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1. Historia del pan y la cerveza

La elaboración del pan y la cerveza son dos de los procesos más antiguos conocidos en la historia de la alimentación humana, surgieron de manera doméstica y en pequeña escala empleado utensilios de uso diario como vasijas, palas, entre otros. Ambos procesos están estrechamente relacionados desde sus orígenes, tanto es así, que la cerveza es conocida como pan líquido, esto derivado de que en su elaboración arcaica se empleaba pan de cebada fermentado, y por su parte la cerveza fungía como materia prima para producción del pan. El perfeccionamiento de las técnicas de elaboración para ambos productos tuvo lugar en la antigua civilización egipcia, cuya cerveza era de las más populares en el viejo mundo, reservando la de mejor calidad para faraones y reyes. Se cree que las grandes pirámides de Egipto se construyeron teniendo a estos dos productos como base de la alimentación (Hornsey, 2016).

Tanto el pan como la cerveza, tienen entre sí mucho más que sus orígenes; además de ser parte fundamental de la alimentación a lo largo de la historia, estos dos productos comparten etapas en su proceso de elaboración, tal es el caso de la fermentación, la cual es de suma importancia en ambos procesos, además de esto, otra parte que tienen en común es que se producen a partir de granos o cereales; el trigo al igual que la cebada se utilizaron para elaborar cerveza, ya sea por separado o en conjunto, hoy en día el trigo se ha convertido en el cereal predilecto empleado en panificación, sin embargo, inicialmente el pan se desarrollaba con cebada, al igual que la cerveza (Sicard & Legras, 2011).

Actualmente ambos productos continúan siendo base fundamental de la alimentación alrededor del mundo, sus procedimientos se han ido perfeccionando e industrializando, lo que posibilita que se reproduzcan a gran escala, también se han implementado en su desarrollo nuevos ingredientes o aditivos que permitan mejorar las características finales del producto, de igual forma, existe tendencia de añadir además de los cereales ancestrales que son trigo y cebada, otros granos para crear nuevas experiencias sensoriales, y aunado a esto; productos más duraderos con mejor calidad, sin embargo también se han conservado las técnicas artesanales, que son la base de la elaboración de estos dos productos alimenticios.

1.2. Cerveza

1.2.1. Origen

La palabra cerveza proviene del latín “bibere” o bien beber, que se origina de la palabra inglesa “bẽor” que significa cerveza, siendo similar a la palabra alemana alta “bior” dando origen a la palabra española “cerveza” (Eßlinger *et al.*, 2012). La primera cerveza fue producida a finales del cuarto milenio antes de cristo en Babilonia, civilización que se encontraba en la baja Mesopotamia ubicada entre el rio Tigris y Éufrates, era uno de los centros más desarrollados en esa época (Hornsey, 2016). Ellos elaboraron su propia cerveza utilizando diferentes granos que se descascarillaban y horneaban para producir un pan plano, los cuales se remojaban en agua para luego dejarlo fermentar espontáneamente por acción de levaduras silvestres (Eßlinger *et al.*, 2012).

De Mesopotamia la cultura de la cerveza se expandió por todo Egipto siendo la bebida más consumida, pero cuando Egipto cayó bajo el control de los romanos introdujeron el vino a la región, sin embargo, el vino era una bebida para los nobles porque se la bebían los conquistadores, mientras que la cerveza era considerada la bebida de los bárbaros. La práctica cervecera se extendió a Roma durante el reinado de Cesar y a otras partes de Europa, dándose a conocer en otra parte del mundo. A medida que los europeos ganaban más territorio, la práctica fue aumentando en el resto del mundo hasta llegar a América del Norte donde se desarrolló la industria cervecera norteamericana (Harrison, 2009; Pires & Brányik, 2015).

En México la primera cervecería que se fundó fue la Cervecería Estrella inaugurada en Guadalajara en 1890. Después le seguirían la Cervecería Cuauhtémoc en 1891 (figura 1) y después Cervecería Moctezuma en 1896. La industria cervecera mexicana siempre ha tenido una gran influencia extranjera, desde el siglo XVI, siglo en el que se abrió la primera fábrica en nuestro país.



*Figura 1. Cervecería Cuauhtémoc.
Fuente: Cerveceros de México, 2019.*

1.2.2. Definición

La norma oficial mexicana menciona que la cerveza es una “bebida alcohólica fermentada elaborada con malta, lúpulo, levadura y agua potable, pueden adicionarse infusiones de cualquier semilla farinácea procedente de gramíneas o leguminosas, raíces o materia prima vegetal feculenta y/o carbohidratos de origen vegetal susceptibles de ser hidrolizados o, en su caso, azúcares que son adjuntos de la malta, con adición de lúpulos o sucedáneos en éstos. Su contenido alcohólico puede ser de 2% a 20% Alc. Vol.” (NOM-199-SCFI-2017). Otra definición de cerveza es una bebida alcohólica no destilada elaborada por medio de una fermentación de una solución de cereales, donde el almidón ha sido parcialmente hidrolizado, se usa lúpulo para otorgar el sabor característico de una cerveza y adjuntos que son otros cereales no malteados (García et al., 2004).

1.2.3. Producción

En 2016 la producción de cerveza ubicó a México como el cuarto fabricante más importante del mundo, después de China, Estados Unidos y Brasil (Figura 2), con un crecimiento del 32% en los últimos 6 años (PROFECO, 2018). La cerveza mexicana se exporta a más de 180 países, siendo el principal exportador de cerveza a nivel mundial superando a países como Bélgica, Alemania, Reino Unido, países bajos, entre otros (Gutiérrez, 2018) y la mayor parte de las exportaciones van destina a Estados Unidos con un 79.9% (INEGI, 2017).

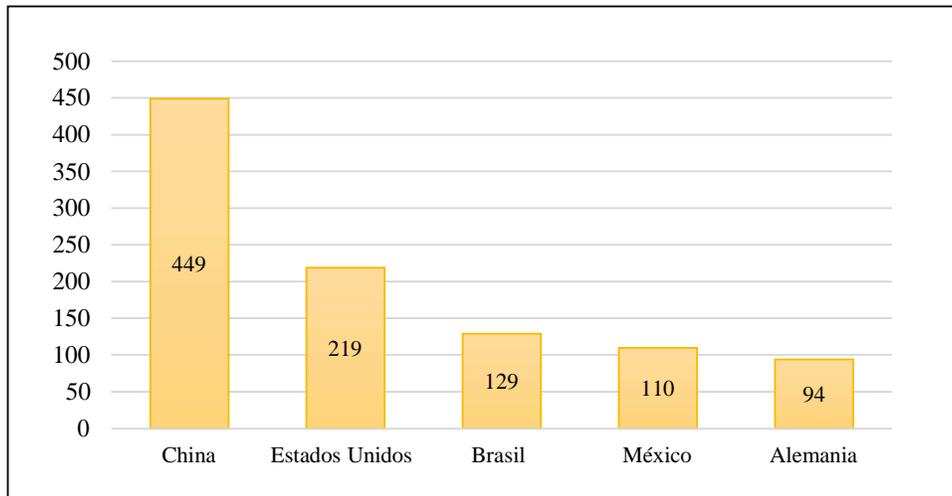


Figura 2. Producción mundial de cerveza en millones de hectólitros
Fuente: INEGI, 2017

Los principales estados productores en México son: Zacatecas y Coahuila, seguidos de Ciudad de México, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz, Sonora, Baja California y Estado de México. La figura 3 corresponde a una gráfica en la que se muestran los porcentajes de producción de cerveza que genera cada estado anualmente (Cámara de la cerveza, 2017).

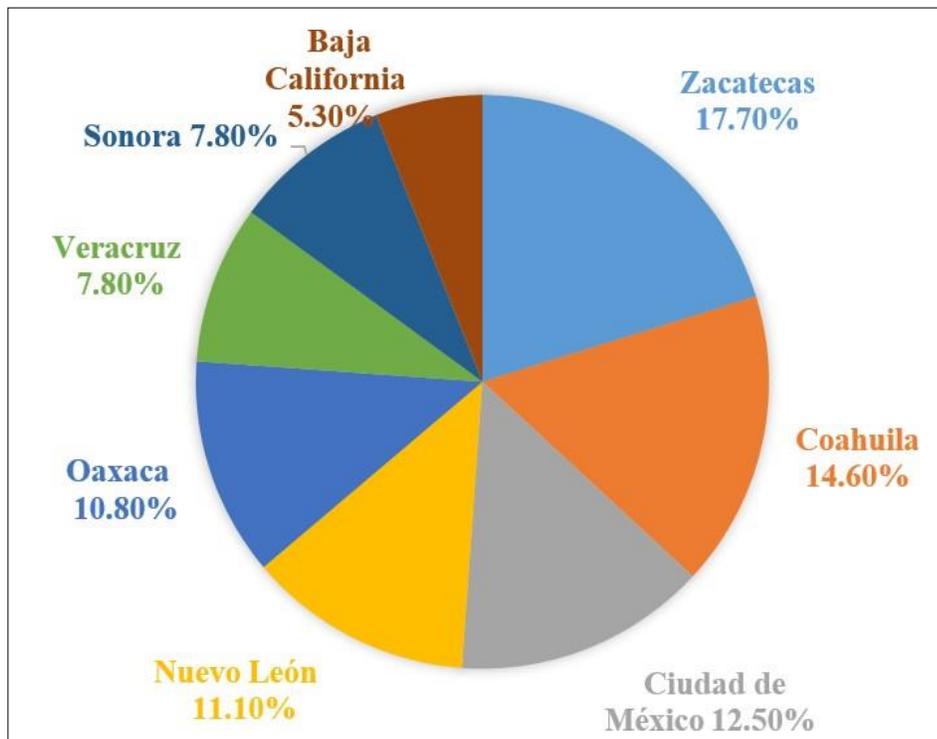


Figura 3. Estados productores en México
Fuente: Economía cervecera, 2017

1.2.4. Clasificación y tipos de cervezas

En los últimos años la variedad y estilos de cervezas aumentaron de manera exponencial, los dos tipos con mayor producción son las cervezas tipo ale y lager y ellas presentan constantemente nuevos estilos de cervezas que reflejan la evolución del mercado y la tecnología (Nothaft, 2003).

Cervezas tipo ale: se caracteriza porque la levadura que se utiliza se queda muy cerca de la superficie del tanque fermentador por lo que se le conoce como una fermentación alta y su temperatura puede oscilar entre 15 a 25°C.

Cervezas tipo lager: Se le conoce como fermentación baja porque la levadura tiende a descender al fondo del tanque y fermentan a una temperatura entre 5 y 9°C. Otra diferencia es que tiende a ser almacenado en un tanque de maduración a una temperatura de 0°C donde se dejan reposar un cierto tiempo (Cerveceros de México, 2017).

Cervezas de trigo: Este tipo de cerveza contiene entre 30 y 70% de malta de trigo y el resto es una mezcla de cebada regular (figura 4). El trigo, al contener más proteína que la cebada, provoca que las cervezas de este tipo tiendan a ser más espumosas, y aunque aporta muy poco sabor, añade una sensación de sedosidad en la boca; estas cervezas suelen ser muy efervescentes (Cultura cervecera, 2019). Hay diferentes tipos de cervezas de trigo, por ejemplo:

- Berlin Wiese: contiene del 25 al 50% de trigo.
- Weizenbier o Weissbier: se utiliza entre 40 al 70% de trigo.
- Witbier: que ocupa trigo sin maltear entre 30 al 50% de trigo.

La cerveza weissbier o weizen es originaria de Alemania, se distingue por ser refrescante, ácida, espumosa, densa, con sabores afrutados y de color ligeramente más oscuro (Cultura cervecera, 2017). La adición de trigo le confiere su singular tonalidad blanca o lechosa que varía en función de la concentración presente de este cereal, a su vez, las proteínas propias del grano le otorgan cierto grado de turbidez que es otra peculiaridad de las cervezas de este estilo. No obstante, se tienen como referencia estudios realizados que comprueban la posibilidad de sustituir parcial o totalmente el contenido de trigo, añadiendo en su lugar otros granos que permitan obtener una cerveza con características similares, tal es el caso del amaranto ya que este pseudocereal genera

un aspecto parecido a las cervezas de trigo, además de que eleva su calidad debido a su mejor composición química (Cruz, 2019).



Figura 4. Cerveza Weizen
Fuente: Cerveceros de México.

1.2.5. Cerveza artesanal

La cerveza artesanal se define como una cerveza elaborada en cualquier cervecería pequeña de una propiedad independiente incorporando las practicas e ingredientes tradicionales de la fabricación de cerveza, para considerarse artesanal debe de cumplir dos características, la primera es la naturaleza tradicional del método de producción de cerveza, y la segunda es que las instalaciones en donde se produzca la cerveza debe en general ser de pequeña escala, sin embargo existen otras características para considerarse una cerveza artesanal las cuales son el uso de ingredientes locales y no convencionales de primera calidad, sin aditivos, usar de distintos granos, fermentado natural y espontaneo, sin pasteurizar, sin filtrar, para su comercialización solo es en puntos de ventas específicos, de alto precio y baja disponibilidad (Donadini et al. 2017; Jaeger et al. 2020).

La finalidad de las cervezas artesanales busca ampliar la variedad, donde el consumidor tenga una mayor diversidad para elegir otras cervezas, en las que se distinguen por sus diferentes tipos de maridaje, clima, ingredientes y estilos. Actualmente en México, las cervezas artesanales ocupan el 0.1% del mercado de cerveza de México. La cuna de la cerveza artesanal en México es Baja California esto debido por la cercanía a Estados Unidos donde se pueden importar ingredientes para la elaboración de esta bebida, sin embargo, los principales estados productores son Ciudad de México, Michoacán, Jalisco, Nuevo León (Cultura cervecera, 2018).

En el año 2017 la producción de cerveza artesanal en México fue de 110,943 hectolitros, mientras que en 2018 fue de 189,250 hectolitros, la producción aumentó un 70.5%, de acuerdo con la asociación Cerveceros de México, en el mismo año se exportó el 3.7% de la producción total de cerveza, las exportaciones se dirigen principalmente a Estados Unidos y Europa.

1.2.6. Materias primas de una cerveza

1.2.6.1. Cebada

La cebada es un cereal que pertenece a la familia de las Gramíneas, todas las cebadas pertenecen a la especie *Hordeum spontaneum*, de la cual existe varias especies, pero las más utilizadas para elaborar una cerveza son las variedades llamadas cerveceras, que pertenecen al grupo de variedades de dos carreras (*H. distichon*) o de seis carreras (*H. vulgare*) (Molina, 1987). La cebada que se utiliza para elaborar cerveza debe cumplir con un estricto control de calidad como son aspectos físicos:

- La humedad de la cebada debe ser <13%
- El tamaño homogéneo con forma redondeada.
- Concentración de proteína de 11-12.5% en peso seco.
- Lo mínimo de granos rotos, dañados.
- Debe contener su cascarilla.
- Debe tener un color amarillo claro.
- Libre de enfermedades, micotoxinas.
- Libre de daños por heladas.
- Libre de insectos, malos olores.
- No debe tener evidencia de germinación previa a la cosecha (Hughes, 2003).



Figura 5. Variedad de cebadas.

Fuente: Martínez-Manrique, Jiménez-Vera, 2013.

Dentro de la composición química de la cebada, es muy importante la humedad, especialmente para conservar su calidad de almacenamiento de la cebada recién cosechada. Los α -glucanos (amilosa y amilopectina del almidón) son los carbohidratos más importantes en la cebada. Los carbohidratos que incluyen son β -glucanos (celulosa, hemicelulosa, gomas), pentosanos, así

como pequeñas porciones de azúcares de baja masa molecular. Las proteínas son especialmente importantes para la maltabilidad, la nutrición de la levadura, espuma, sabor y estabilidad de la cerveza. Los lípidos se usan solo parcialmente durante la malta, el resto permanece principalmente en los granos gastados. Otros componentes importantes son fosfatos aprox. 0.3%, minerales 2.5 - 3.5%, vitaminas aprox. 0.5×10^{-3} % y sustancias fenólicas aprox. 0.2%. (Eßlinger *et al.*, 2009).

Este grano de cebada se somete a un tratamiento de malteado cuyo objetivo es convertir el almidón en azúcares fermentables, esto se da por un proceso de germinación natural como ocurriría normalmente cuando se siembra el grano, pero este se induce y se deja que se desarrolle con un control cuidadoso (Zarnkow, 2014). La malta de cebada es la principal fuente de carbohidratos del mosto.

1.2.6.2. Agua

El agua es el ingrediente principal de la cerveza, en esta industria se requiere que el agua que se use sea de calidad potable, como lo especifica la Organización Mundial de la Salud (OMS), por eso se han establecidos parámetros de calidad para mejorar este producto (Hughes, 2003). La mayoría de las cervezas contiene entre 90 al 95% de agua: aparte del etanol y dióxido de carbono, los componentes restantes son aproximadamente el 1%. El agua que se utiliza no debe tener manchas ni componentes peligrosos y para asegurarse de eso, la mayoría de las cervecerías cuentan con filtros de carbón y ultrafiltración (Bamforth, 2003).

1.2.6.3. Lúpulo

Son flores o conos, de una planta *Humulus lupulus* perteneciente a la familia de las *Cannabaceae* (figura 6). Las glándulas de lupulina en el cono contienen los compuestos aromáticos más importantes (Stewart, 2016).

Las glándulas de lupulina en el cono contienen los compuestos aromáticos más importantes (Stewart, 2016). Es un ingrediente que se adicionan al mosto para proporcionar un sabor amargo a la cerveza (Hughes, 2003), aumenta la estabilidad biológica de la cerveza, da estabilidad a su espuma, así como propiedades antibacterianas y proporciona protección contra del deterioro de algunos microorganismos. Contiene especies químicas que incluyen celulosa y ligninas, proteínas, lípidos y resinas, aceites y taninos (Bamforth, 1998). Los componentes más importantes del lúpulo para la elaboración de cerveza son las resinas y los aceites esenciales.



*Figura 6. Planta de lúpulo.
Fuente: Benjamín, 2014.*

1.2.6.4. Levadura

Son los microorganismos responsables de la fermentación, estos se han usado a lo largo de la historia en la elaboración de pan, vino y cerveza, pero fue en el siglo XIX cuando se reconocieron como una entidad biológica, aprovechando sus cualidades y generando su cultivo en grandes cantidades (Livens, 2016). Dentro de su clasificación se encuentra el género *Saccharomyces* que significa “hongo de azúcar”, se halla comúnmente en ambientes azucarados como es la superficie de las frutas maduras (Pires *et. al.*, 2015). Derivada de este género, se tiene la especie “*cerevisiae*” cuyo nombre significa “de cerveza”, se consideran seguras y producen dos metabolitos primarios importantes: etanol y dióxido de carbono (CO₂) (Stewart, 2003).

Las levaduras (figura 7) son el ingrediente más activo en términos generales, ya que pueden producir numerosos compuestos que inciden tanto de manera positiva como negativa en la calidad de la cerveza. Existen dos grupos de levaduras cerveceras con características distintas durante la fermentación: las cepas son ale y lager, las cuales se distinguen por su floculación, tiempo de fermentación, así como en sus propiedades organolépticas de la cerveza (Pires *et. al.*, 2015). Las cervezas tipo ale se fermentan con levadura de *Saccharomyces cerevisiae* y el tipo lager se fermentan con cepas de *Saccharomyces uvarum* (*carlsbergensis*) y normalmente

en la literatura científica se encuentra como *Saccharomyces cerevisiae* tipo ale y *Saccharomyces cerevisiae* tipo lager (Stewart, 2003).



Figura 7. Levadura
Fuente: Cultura cervecera, 2019

1.2.6.5. Adjuntos

Los adjuntos son fuentes alternativas de extractos fermentables que se utilizan para reemplazar una proporción de la malta, por lo general se usan fuentes menos costosas, además se utilizan para mejorar la calidad del producto, como en el color, sabor, espuma. Básicamente los complementos se consideran fuentes no malteadas de azúcares fermentables (Stewart, 2016). Usualmente se usa cualquier cereal que aporte almidón, como el trigo, maíz, arroz, centeno, avena y sorgo, también existe una tendencia actual de implementar pseudocereales como el amaranto, ya que este exhibe características similares a las de los cereales. También pueden usarse azúcares, melazas o jarabes, cuya ventaja sobre los granos es que no necesitan maceración.

1.2.7. Proceso de elaboración de cerveza

Existen dos formas o métodos para producción de la cerveza; el proceso industrial y el proceso artesanal. Ambos tienen como base el mismo objetivo, que es la elaboración de una bebida alcohólica mediante fermentación de productos vegetales, sin embargo, existen características que permiten diferenciarlos. Por un lado, el método industrial se realiza empleando maquinaria que en la mayoría de las ocasiones reemplaza la actividad humana, volviendo automático el

proceso, ya que se busca producir la cantidad más grande posible y reducir los costos. Otra particularidad de las cervezas industriales es que incluyen etapas como pasteurización y filtrado químico, lo cual influye en algunas de las características del producto final como son el aroma, el sabor y la apariencia.

Por su parte, las cervezas artesanales se caracterizan por ser elaboradas de forma tradicional, generalmente se usan materias primas totalmente naturales, sin emplear aditivos en su formulación. La mayor parte del proceso se realiza de manera manual o con una mínima ayuda de equipos automáticos, lo que permite que la cerveza no pierda algunas de sus propiedades. Existen estudios realizados, que demuestra que en México la ingesta de cerveza artesanal resulta más atractiva para los consumidores a comparación con la cerveza industrial, esto debido a factores como: la búsqueda de nuevas experiencias sensoriales fuera de lo convencional, pues sin duda las cervezas artesanales poseen tanto gustos como aromas peculiares; otro factor es la conservación de la identidad nacional, apoyando a los productores locales (Gómez-Corona *et al.*, 2017). Es por ello que el consumo y producción de las cervezas artesanales han aumentado en los últimos años, teniendo gran aceptación y oportunidad de mercado. Consta de etapas fundamentales como son: Maceración, filtración, cocción y fermentación, las cuales se describen a continuación, junto con el tratamiento de la cebada que es la materia prima principal.

Malteado: El malteo es el proceso de germinación en condiciones controladas. Para que la cebada se convierta en malta pasa por diferentes fases. En primer lugar, está el remojo; en esta etapa se aumenta la humedad del grano hasta 42 a 46% a una temperatura controlada entre 10 a 15°C y el tiempo es de 60 horas aproximadamente. Este procedimiento se hace en grandes tanques en los cuales se burbujea aire para evitar el desarrollo de condiciones anaeróbicas. (Ortega *et al.*, 2003; García *et al.*, 2004). Al acabar esta fase se drena el agua para pasar a la etapa de germinación.

La germinación es un proceso fisiológico durante el cual el embrión desarrolla raíces, los nutrientes almacenados del endospermo se consumen en gran parte, y tiene como objetivo producir una malta con una composición definida, pero sin permitir el desarrollo de una nueva planta (Ortega *et al.*, 2003). Se lleva a cabo en condiciones apropiadas para lograr los cambios metabólicos deseados durante un cierto tiempo. El contenido de humedad no debe disminuir durante todo el período de germinación, la temperatura favorable es de 14 a 18°C y tiempo de

aproximadamente 6 días (Pires *et al.*, 2015; Zarnkow, 2014,). En esta etapa se desarrolla parcialmente el embrión, activando sistemas enzimáticos endógenos, como las amilasas α y β y las proteasas, que son capaces de hidrolizar el almidón y las proteínas, respectivamente. Esta cebada germinada se conoce como malta verde.

Finalmente, el grano se seca para detener la actividad enzimática y evitar sustancias indeseables, así como detener la germinación, aporta color y sabor por las reacciones de Maillard que se dan durante el secado, la humedad final de la malta debe ser en promedio del 4%. Al variar las temperaturas se pueden obtener diferentes tipos de maltas (figura 8) por ejemplo la malta lager se hornea entre 45 a 70°C mientras las maltas ale se somete entre 60 a 95°C, por lo general al tener una mayor temperatura de horneado se obtendrá maltas más oscuras y con menor actividad enzimática.



Figura 8. Tipos de malta.

Fuente: MALTOSAA, 2017.

Molienda: La malta y otros granos se deben moler para aumentar la superficie de contacto. La molienda se realiza para facilitar la extracción de azúcares y otras sustancias, sin embargo, el tamaño de partícula interfiere directamente con la velocidad de separación del mosto (Pires *et al.*, 2015).

Maceración: En esta fase (figura 9) ocurre una hidratación que reactiva la actividad enzimática que estaba latente en la malta seca, estas enzimas funcionan mejor en las siguientes condiciones: abundante agua, partículas con alta superficie de contacto esto para

permitir un mejor acceso al sustrato, es decir, almidón, proteínas etc. Este proceso se lleva a cabo de acuerdo a un perfil de temperatura, debido a que con cada temperatura se acciona un tipo de enzima diferente:

Etapa 1; 35–50° C: dominado por la acción de proteasas y fosfatasas. Las proteínas se hidrolizan y se liberan aminoácidos y otros compuestos de nitrógeno.

Etapa 2; 50–65° C: dominado por la acción de las β -amilasas, que convierten el almidón en maltosa y dextrinas.

Etapa 3; 65-75° C: la actividad de la α -amilasa es dominante. La hidrólisis del almidón continúa y se completa su sacarificación.

Etapa 4; > 75° C: todas las enzimas en la mezcla quedan inactivas (Ortega *et al.*, 2003).



Figura 9. Etapa de maceración.

Filtrado y lixiviación: El mosto dulce posee una concentración de extracto del 18%. Se filtra y se enjuaga con agua a 75 ° C, lo que lleva el extracto en el mosto cerca de la concentración objetivo de 11-12%. Los granos gastados (bagazo) se separan para utilizarse como alimento nutritivo para animales.

Cocción: El mosto se transfiere a la caldera, donde se hierve durante 60-90 min. En esta etapa se agrega el lúpulo al mosto que proporcionara un sabor amargo a la cerveza terminada, así como su aroma, al ebullición también produce una precipitación de las proteínas de alto peso molecular, así como la evaporación de compuestos aromáticos indeseables, además se detiene la actividad enzimática, una vez que el almidón, las proteínas y otros compuestos han sido hidrolizados y esterilizado el mosto, se convierte en un medio estéril para fermentar (Ortega *et al.*, 2003).

Filtrado: Una vez completada la ebullición, el mosto se filtra para poder recuperar el lúpulo gastado.

Enfriado y aireación: El mosto pululado se deja enfriar y oxigena. El mosto se enfría forzosamente hasta alcanzar una temperatura de 8 a 24°C, esto va depender el tipo de levadura que se utiliza en el proceso, los motivos para forzar el enfriamiento son, para provocar un choque térmico causando la precipitación de proteínas y de taninos insolubles denominado turbio frío. La aireación es muy importante porque el oxígeno es fundamental en la primera fase de la fermentación, generalmente se introduce aire estéril que proviene de un enfriador de placas.

Fermentación: El objetivo de la fermentación del mosto (figura 10) es metabolizar sus componentes en alcohol etílico y dióxido de carbono a través de la acción de la levadura (Stewart, 2003). En esta fase el mosto contiene los azúcares sacarosa, fructosa, glucosa, maltosa y maltotriosa, donde la levadura los transforma.

Esta etapa es muy crítica porque se debe mantener cuidado para reducir los posibles problemas de contaminación, así como mantener una temperatura y humedad constante para que permanezca la tasa de crecimiento deseada para la levadura, también se da la disminución rápida del pH durante la fermentación para aumentar su estabilidad y reducir una contaminación. Después de la fermentación, el pH de la mayoría de las cervezas baja de 5.2 - 5.3 a 4.1 - 4.2 aproximadamente. Al tener un pH ácido ayudan a preservar el producto final e inhibir el crecimiento bacteriano (Harrison, 2009).



Figura 10. Fermentación del mosto.

Maduración: Tiene como objetivo mejorar la calidad de la cerveza al envejecer la cerveza fresca en un recipiente de almacenamiento que también les da tiempo para que la levadura precipite. Al finalizar la fermentación, se obtiene una cerveza verde, donde es necesario separar el sedimento y transferirlo a un envase, la maduración de la cerveza se produce durante el almacenamiento a entre 0–2 °C durante varias semanas, según el tipo de cerveza que se requiera. La cerveza suele envejecer durante períodos de tiempo ligeramente más largos. Este paso permite que la cerveza desarrolle sus características finales como sabor y color (Harrison, 2009).

Envasado: Generalmente al terminar la maduración la cerveza es sometida a un proceso de filtración separando las pequeñas partículas de levadura y compuestos que aún se encuentran en suspensión. Una vez filtrada se obtiene la cerveza brillante, la cual se envasa en diferentes formatos para su consumo (figura 11) y en muchos casos se pasteuriza para luego poner a disposición del consumidor.



Figura 11. Envasado.

1.2.7.1. Bagazo

Se denomina bagazo o grano gastado al residuo de materia después de extraído su jugo, es un subproducto de la industria cervecera resultado del proceso de prensado y filtrado del mosto obtenido tras la sacarificación del grano que principalmente es la cebada malteada. Representa alrededor del 85% de los subproductos totales generados por esta industria, obteniéndose de bagazo el 31% del peso original de la malta. En el 2016, México generó alrededor de 719 mil toneladas. Entre sus componentes presentados en la tabla 1, destaca la fibra; que está constituida por celulosa entre 15.5 y 25%, hemicelulosa con 28 al 35% y lignina con un aproximado del 28%. Posee también proteínas, lípidos, minerales entre los que se encuentran calcio, fósforo y selenio, también vitaminas, aminoácidos y compuestos fenólicos. Además, puede contener biotina, colina, ácido fólico, niacina (Ferrari *et al.* 2017; Ministerio de Agricultura 2019).

Tabla 1. Composición química del bagazo.

	Proteína (%)	Fibra (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)
Bagazo	15-26	75	3.9	2.5-4.5

Fuente: FAO, 2019.

En los últimos años existe una presión política y social para reducir los residuos generados por las actividades industriales, es por ello que la mayoría de las industrias están realizando nuevas estrategias de producción enfocadas en “reutilizar y no desperdiciar”. En consecuencia, un gran número de empresas ya no los consideran residuos sino materias primas para usarlos dentro de otros procesos, en el caso del bagazo, se usa principalmente como un suplemento alimentario para ganado, sin embargo, existen tendencias que incorporan al bagazo en elaboración de alimentos para consumo humano ya que es una excelente fuente de fibra, como ejemplo de ello se tienen productos de panificación desarrollados a partir de este subproducto (Carrillo-Nieves *et al.* 2019; Nigam 2017).

1.3. Panificación

El proceso de panificación conocido hoy en día tiene su origen en el antiguo Egipto antes del siglo XX a. C., donde sus principales etapas, como la fermentación, fueron descubiertas accidentalmente cuando se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire aumentando su volumen, y que, añadida a la masa de harina nueva, daba como resultado un pan más ligero y de mejor gusto. En esa época el consumo de este producto tenía implicaciones sociales, tales que el pan blanco era propio de la clase alta, mientras que el integral o negro se reservaba para la clase baja. Desde entonces el proceso se ha ido modificando y mecanizando; en la actualidad se involucran distintos aditivos para mejorar las propiedades finales del pan, levaduras panificables para llevar a cabo la fermentación, así como amasadoras y hornos automáticos (Mesas & Alegre, 2002; Quaglia, 1991).

A lo largo de la historia el consumo de pan ha sido pieza fundamental en la alimentación humana, incluso algunas religiones cristianas, judías y antiguas griegas lo han utilizado como símbolo sagrado. Al principio era una pasta plana que se elaboraba a partir de una masa no fermentada de granos machacados groseramente, cocida sobre piedras planas calientes. Actualmente existe diversidad de formas y tipos, que dependen en mayor grado a las costumbres de cada región, constituyéndose como un producto básico de la dieta tradicional en Europa, América, Oriente Medio y la India (Bourgeois & Larpent, 1995; Murcia, 2011).

1.3.1. Tipos de procesos

La manufactura industrial del pan generalmente se realiza siguiendo uno de tres tipos de procesos: Panificación directa, sistema de panificación tipo esponja, o método continuo. Los requerimientos de calidad de la harina, mano de obra y propiedades del producto terminado difieren entre los distintos procesos.

Se conoce como panificación directa al método en el que la harina es mezclada con el resto de los ingredientes y amasada hasta desarrollar un lote de masa con la consistencia óptima, esta se divide manual o mecánicamente en porciones para que posteriormente sea fermentada en charolas o gavetas a una temperatura entre 25-30 °C con humedad relativa de 85%. Transcurrido el tiempo de fermentación que es alrededor de 2 horas, la masa es prensada, dividida y

moldeada, puede llevarse a cabo una nueva fermentación (45-70 min) para alcanzar un volumen determinado. Finalmente, la masa es horneada por 20-25 minutos a temperaturas que van desde los 200 hasta los 220 °C, después la hogaza de pan es enfriada, cortada o rebanada y empacada. Regularmente este tipo de proceso es menos frecuente a nivel industrial y se emplean exclusivamente levaduras comerciales.

Por otro lado, el método de panificación tipo esponja o poolish es el más practicado industrialmente. Consiste en formar lo que se conoce como masa líquida que tiene apariencia de esponja, esta se obtiene mezclando una porción de la harina de la formulación (30-60%), agua (proporción 1:1 litro-kilo de harina) y la levadura. Se deja fermentar un lapso que puede ser desde 4 hasta 6 horas, posteriormente se mezcla con el resto de los ingredientes y se procede como el método directo (Serna, 1996).

En el caso de los sistemas de panificación continua, se caracterizan por ser altamente mecanizados lo que conlleva un ahorro de mano de obra, tiempo y espacio, además se reduce el tiempo de fermentación dado que las formulaciones contienen más azúcar y levadura, sin embargo, deben cumplir con un estricto control de calidad de las materias primas y el proceso mismo. Se basan en la elaboración de un líquido fermentado obtenido por mezcla de agua, levadura, azúcar y puede contener una pequeña cantidad de harina. El resto de los ingredientes se añaden por bombeo y se mezclan en amasadores rápidos. La masa es cortada en un extrusor continuo en porciones del mismo peso que se depositan en moldes, se fermentan durante 90 minutos y después se introducen en hornos continuos a temperaturas de 220 °C entre 20 a 25 minutos. Finalmente, el pan es enfriado, cortado y empacado.

1.3.2. Principales etapas del proceso

Amasado: Se realiza de forma manual o mecánica, con el objetivo de distribuir homogéneamente los ingredientes y propiciar el desarrollo del gluten (gliadina, glutenina y agua), sustancia que por su elasticidad e impermeabilidad a las grasas tiene importante influencia en las características finales del producto. Durante la etapa de mezclado, la harina absorbe el agua adquiriendo una textura rugosa granular. La cantidad de agua absorbida depende de factores como la granulometría, contenido proteico, calidad, humedad y presencia simultánea de otras sustancias. El almidón de la harina tiene una capacidad de absorción del 36%, mientras

que las proteínas presentan una absorción mayor que provoca un aumento de su peso hasta de tres veces su valor inicial (Quaglia, 1991; Serna, 1996).

Conforme avanza esta etapa, la masa empieza a adquirir propiedades elásticas cohesivas debido a que el complejo hidratado gliadina-glutenina (gluten) empieza a interactuar mediante formación de enlaces hidrofóbicos y disulfuro. Al punto en el que el gluten adquiere su mayor fuerza elástica y tenacidad se conoce como tiempo de desarrollo. En este punto la masa tiene una textura lisa, brillante y tiende a retener la mayor cantidad de gas producido durante la fermentación, lo que conlleva un aumento de volumen en el pan. Sin embargo, si se excede el tiempo óptimo alcanzando un sobre mezclado, la red formada por el gluten se rompe, dificultando el manejo y procesamiento de la masa.

Rolado y formado: Durante esta fase las moléculas de aire atrapadas en la red de gluten de la masa son divididas en minúsculos espacios nuevos que se traducen en la textura observada en la miga del producto terminado. Puede realizarse previo a la fermentación o posterior a esta y ser de forma manual o mecánica. Existen muchas clases de pan que son moldeados a partir de una lámina de masa desgastada con espesor de varios milímetros, la cual es posteriormente cortada y formada manual o mecánicamente.

Fermentado: Consiste en una fermentación alcohólica que empieza cuando la levadura y la harina son hidratadas en presencia del sustrato adecuado, se lleva a cabo a condiciones controladas de temperatura entre 26-32 °C y atmosferas con alta humedad relativa para evitar la deshidratación de la masa que afectaría el rendimiento y características del producto final. Las levaduras transforman los azúcares fermentables en etanol, CO₂ y otros productos secundarios, este CO₂ es atrapado en la red de gluten de la masa haciendo que se esponje. Mientras tanto, la paulatina generación de ácidos grasos por acción de las levaduras mismas, baja el pH del sistema eventualmente, ayudando la actividad del agente conservador (Mesas & Alegre, 2002; Serna, 1996).

Horneado: Es un proceso industrial y artesanal común en el que la transferencia de calor y masa se realiza simultáneamente. Comprende varias transformaciones fisicoquímicas tales como gelatinización de almidón, incremento de volumen, reacciones de Maillard, formación de corteza, liberación de dióxido de carbono y evaporación de agua. En el horneado por convección típico, la transferencia de calor se lleva a cabo capa por capa, primero desde la superficie del

horno a la del producto por convección y gradualmente al centro del producto por conducción (Garg *et al.*, 2019).

En esta etapa la masa se transforma en pan al ser sometida a temperaturas de 200-220 °C dentro del horno durante un periodo alrededor de 18-25 min, estas condiciones varían en función del peso de la masa. Al inicio del horneado aún existe producción de CO₂ resultante de la fermentación, por lo que, con el aumento de temperatura, la masa incrementa su volumen. Las elevadas temperaturas tienen distintos efectos en los componentes de la masa, provocan la muerte de las levaduras; desnaturalización del gluten, ocasionando que pierda su capacidad de retención de agua, volviéndose rígido; en el almidón produce la gelatinización, incrementando notablemente su capacidad de retención de agua; y favorece las reacciones de Maillard confiriéndole a la costra el color dorado característico (Serna, 1996).

1.3.3. Productos elaborados

Debido a la versatilidad de condiciones tanto en el proceso de panificación como en las materias primas, se puede obtener una extensa gama de productos. La Cámara Nacional de la Industria Molinera del Trigo (CANIMOLT) se refiere a ellos como, fermentados o no, elaborados de las mezclas de harinas de cereales o leguminosas, harinas integrales y agua potable, pueden contener sal, mantequilla, margarina, aceites comestibles, leudantes, polvo para hornear, especias y otros ingredientes opcionales tales como azúcares, mieles, frutas o jugos. Algunos contienen aditivos alimentarios, rellenos o cobertura. Son sometidos a procesos de horneado, cocción o fritura y pueden mantenerse a temperatura ambiente, refrigeración o congelación, según los requerimientos del producto.

En el caso específico del pan, la norma NMX-F-521-1992 lo define como un producto alimenticio obtenido por horneado de una masa fermentada elaborada a partir de mezcla de harina de trigo u otros cereales, sal, agua potable, azúcares y grasas comestibles.

Se clasifica 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

1.3.3.1. Baguette

El Baguette (pan francés/pan de Viena) tiene su origen en Viena a mediados del siglo XIX, es uno de los panes más consumidos en la mayoría de los países de habla francesa y uno de los más populares en todo el mundo. Es un estilo de pan de corteza crujiente, se caracteriza por ser una barra mucho más larga que ancha con cortes superficiales; tiene miga blanca, suave y con grandes agujeros irregulares; su sabor es ligeramente dulce y pesa alrededor de 250 g (figura 12). Para su elaboración suelen emplearse cuatro ingredientes básicos; harina, agua, levadura y sal (Collar, 2016).

Fue en los años 20 cuando el baguette se volvió muy popular a raíz de la aprobación de una ley en 1919 sobre la jornada laboral nocturna, que obligaba a los panaderos a empezar a trabajar después de las 4 de la mañana. Este gremio tuvo que implementar medidas que permitieran terminar el producto a tiempo, lo que hicieron fue alargar las barras de pan y hacerlas más estrechas, esto para reducir el tiempo de leudado y cocción.



Figura 12. Elaboración de Baguette.

Fuente: Bravo, 2018.

Hoy en día, el baguette es uno de los panes franceses más reconocidos mundialmente. De acuerdo con la norma mexicana antes mencionada, este estilo de pan pertenece a la categoría de pan blanco, el cual es uno de los más consumidos en el país. La relación de la panadería con México se asentó por completo durante el segundo imperio, sin embargo, tiene antecedentes como la famosa guerra de los pasteles y otras intervenciones francesas que tuvo el país. Actualmente, en México este estilo de pan es muy popular, por su versatilidad y sabor, ha adquirido gran fama en las fiestas decembrinas, tanto que existen establecimientos especializados en panadería y repostería francesa.

No obstante, un punto a tener en cuenta es que el baguette no presenta un buen aporte nutrimental, esto como consecuencia de que en su formulación sólo emplea cuatro ingredientes básicos, donde el mayoritario es harina refinada de trigo. Una manera de dar solución a este inconveniente sería incluir en la formulación ingredientes ricos en componentes nutritivos y hasta funcionales, que mejoren la calidad del baguette, para ofrecer un pan agradable al gusto del consumidor y adicional a esto; un producto nutritivo.

1.3.4. Materias primas

Harina: Se considera el componente más importante en los procesos de panificación ya que le confiere características y funcionalidad al producto final, también dictamina algunos parámetros en el proceso y requerimientos de otros ingredientes por lo que se debe tener un cuidadoso control de calidad. Es el producto obtenido de la molienda del endospermo de los granos, trigo principalmente, maíz u otros. Si la harina contiene no sólo el endospermo, sino todos los componentes del grano, se le conoce como harina integral. La funcionalidad impartida por este ingrediente está ligado principalmente a su contenido de proteínas y gluten, este último es un compuesto que se forma con la mezcla de agua y harina de trigo exclusivamente. Otros componentes importantes de la harina son las pentosanes, almidón, carbohidratos simples y lípidos (Mesas & Alegre, 2002; Serna, 1996).

Agua: Es el segundo componente mayoritario de la masa, fundamental para solubilizar los ingredientes de panificación, activación de las levaduras y desarrollo del gluten. Hidrata los gránulos de almidón de la harina facilitando el amasado y confiriéndole a la masa sus características plásticas como cohesión, elasticidad, plasticidad y tenacidad.

Levadura: Microorganismos encargados de producir fermentación alcohólica. La levadura desdobra los monosacáridos, disacáridos y trisacáridos para producir ácidos orgánicos responsables de bajar el pH, otros compuestos saborizantes como aldehídos y cetonas, etanol y CO₂ que es atrapado en la red elástica del gluten teniendo acción leudante (Serna, 1996). Existen tres tipos de levaduras; la primera es la natural que está presente en la harina de la masa, es poco usada actualmente como levadura única, salvo en elaboraciones artesanales; el segundo tipo es la levadura comercial, preparada industrialmente a partir de cultivos puros, usualmente *Saccharomyces cereviceae*; y el tercero, son aditivos gasificantes que consisten en la mezcla de un ácido y un compuesto alcalino, se conocen como levaduras químicas o impulsores de masas y su aplicación es más común en pastelería (Perez *et al.*, 2001).

Sal: Es un potenciador de sabor que también actúa como regulador de la fermentación, fortalece el gluten mediante modificación iónica de las proteínas lo que atribuye mayor tenacidad a la masa, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua (Calvel, 1983; Serna, 1996).

1.4. Trigo

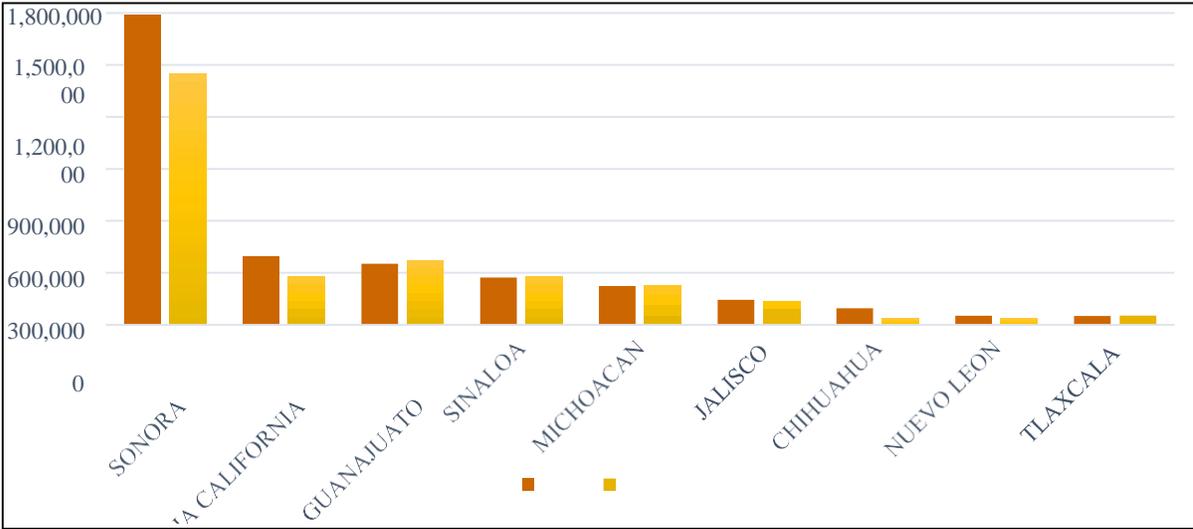
Su origen se registra desde la civilización Mesopotámica, el cultivo del trigo data de Siria, Jordania, Turquía e Iraq, hace aproximadamente 8 milenios, ocurrió una mutación con el trigo silvestre que resultó en una planta con semillas más grandes, se han encontrado con restos de granos de trigo almidónelo (*triticum dicocoides*) y granos de barro cocido en Jarmo que proceden desde el año 6700 a.C. (Sepúlveda & Torres, 2012). Años más tarde la semilla del trigo llegó a cultivarse en el Medio Oriente entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates, donde empezó a sembrarse y distribuirse a otras civilizaciones como lo fue la griega y la romana, convirtiéndose en uno de los cereales más importantes en el mundo transformando la alimentación humana (CONACYT, 2019).

El trigo llegó a México en la época de la conquista de los españoles, que transportaron grandes cantidades de este cereal. El primero en sembrar y cosechar el trigo en México fue Juan Garrigo, quien lo germinó y cultivó para obtener 180 granos, a partir de esa cosecha se empezó la siembra del grano en distintas regiones de la Nueva España. Para el año 1534 ya se

generaban grandes cosechas en Texcoco y Puebla. Los jesuitas fueron los que transportaron el trigo al norte del país, enseñándoles a los indígenas a cultivarlo, mientras que los franciscanos siguieron cultivando en todas las regiones. (CANIMOLT, 2007).

1.4.1. Producción en México

El trigo es el grano más consumido por los seres humanos y su producción supera a otros cereales. En México su cultivo se realiza en veintidós entidades las cuales destacan Sonora, Guanajuato, Baja California, Sinaloa, Michoacán y Jalisco, que en conjunto han obtenido 95% del total de la producción nacional (figura 13) (SIAP, 2019).



*Figura 13. Producción anual 2017-2018.
Fuente: SIAP, 2019.*

En el año 2017 la producción anual en México fue de 3, 493,523 toneladas mientras que, en el año 2018 de 2,935,379 toneladas obteniendo una baja en este último año. El estado de Sonora es el principal productor de trigo produciendo casi el 50%. Las regiones con menor producción son Coahuila, Durango, Baja California Sur, Oaxaca, México, Zacatecas, Puebla, Hidalgo, Tamaulipas, Veracruz, Querétaro, San Luis Potosí, Aguascalientes, Morelos y Chiapas aportando casi el 4% de la producción anual (SIAP, 2019).

1.4.2. Clasificación taxonómica y variedades

El trigo (figura 14) pertenece a la familia de la gramínea (Poaceae), el *Triticum spp* designa el conjunto de cereales tanto cultivados como silvestres, perteneciendo al género *Triticum* de la familia de las gramíneas (SAGARPA, 2017).

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae
- Género: *Triticum*
- Especies: *Triticum aestivum*, *durum* etc.



*Figura 14. Planta de trigo.
Fuente: SAGARPA, 2017.*

Existen diferentes variedades del trigo, pero las más utilizadas para el consumo humano y elaboración de diferentes tipos de alimentos son los siguientes:

Triticum aestivum L. Trigo harinero: Se caracteriza porque su gluten es muy elástico, extensible y se utiliza para la elaboración de panes tortillas, galletas y reposterías.

Triticum durum L. Trigo cristalino o duro: Caracterizado por tener un grano muy duro, un endospermo con alto contenido de pigmento, el gluten que contiene es no extensible y se usa para la industria para la elaboración de pastas como son el espagueti, sopas secas etc.

1.4.3. Morfología del grano de trigo

El grano de trigo (figura 15) presenta una forma ovalada con sus extremos redondeados. Está formado por tres partes principales, que es el salvado o pericarpio, el germen y el endospermo (Martínez-Manrique & Jiménez-Vera, 2019).

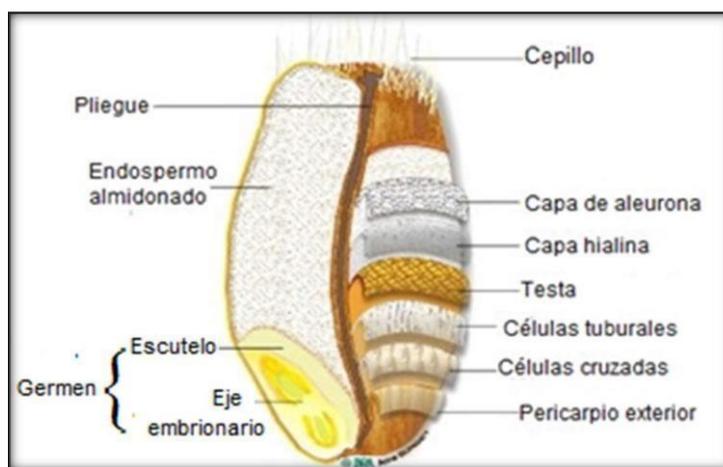


Figura 15. Morfología del grano de trigo.
Editado por Martínez 2019.

Pericarpio: Es la parte externa del trigo que protege a la semilla, el pericarpio y la testa combinado con la capa aleurona, conforma el salvado del trigo que es rico en vitaminas y minerales con un alto contenido de proteína (León & Rosell, 2007). El pericarpio está constituido por tres capas las cuales son pericarpio exterior, pericarpio interno y capa aleurona. El pericarpio exterior rodea el grano y se compone de tres subcapas de células epidermis, hipodermis y capa interna, esta capa se desprende fácilmente, su apariencia es pálida (Chaquilla *et al.*, 2018). Mientras que el pericarpio interno está formado por células intermedias tuberales y cruzadas, pero ni las células intermedias y tubulares cubren completamente el núcleo del grano. La composición del pericarpio es aproximadamente del 6 % de proteína, 2% de cenizas, 20% de celulosa, 0.5% de grasa y el resto son polisacáridos sin almidón (Arendt & Zannini, 2013).

Endospermo: Se encuentra ubicado en el centro del grano y representa el componente morfológico más grande que va de 81-84% del peso total del cereal. (Chaquilla *et al.*, 2018). Los granos de trigo son principalmente de endospermo almidonado que consiste en células

empaquetadas con gránulos de almidón incrustados en una matriz de proteínas, el almidón está compuesto por amilosa y amilopectina.

Las paredes celulares del endospermo están constituidas por el 75% de polisacáridos, y a su vez se componen por 70% de arabinosilanos, 20% (1–3) (1-4) β -D-glucanos, 7% de β -glucomanano y 2% de celulosa, y el resto pertenece al 15% proteínas (Arendt & Zannini, 2013) de las cuales son gliadina y glutenina que constituyen el 80% de la proteína de grano total. La combinación de gliadina y glutenina al mezclar con agua da como resultado una estructura viscoelástica llamada gluten (Solah *et al.*, 2015). Su función es almacenar las reservas y es la principal fuente de energías durante la germinación, está formado por almidón y proteínas (Arendt & Zannini, 2013).

Germen: Representa el 2 al 4% del peso del grano y tiene un alto contenido de proteínas (25%), 18% en azúcares especialmente sacarosa y rafinosa, 5% de cenizas y 16% de lípidos y por lo tanto contiene vitaminas solubles en lípidos como lo son las vitaminas E. Al tener alto valor nutrimental favorece el proceso de germinación del grano (Grundas & Wriley, 2004). En la germinación se convierte en el órgano para que la planta digiera el almidón y las proteínas del endospermo y la planta empiece su crecimiento (Solah *et al.*, 2015).

1.4.4. Composición química

Su composición varía de acuerdo con el tipo de trigo, cultivo, así como en la morfología del grano (germen, endospermo y pericarpio). El grano maduro, está compuesto por carbohidratos, proteínas, lípidos, minerales y vitaminas, mientras que las partes del grano están constituidas por otra composición como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química proximal del grano de trigo.

	Humedad (%)	Proteínas (%)	Carbohidratos (%)	Fibras (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)
<i>Grano de trigo</i>	12.5	12.0	66.5	2.2	1.8	1.7

Fuente: Martínez-Manrique & Jiménez-Vera, 2019.

Los granos de trigos son una buena fuente de vitaminas B, vitaminas E, compuestos antioxidantes como ácidos fenólicos y carotenoides, compuestos hormonales activos como los lignanos, el trigo contiene fibra soluble e insoluble que se localizan en su mayoría en las capas externas de grano (Hemery *et al.*, 2007). Los minerales están presentes en pequeñas cantidades en el grano y están formados por fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. El fósforo se presenta principalmente como fosfato mono o di-potásico (Abadía *et al.*, 2017).

El principal carbohidrato que se encuentra en el grano maduro es el almidón, que está compuesto por 25% amilosa y 75% amilopectina (León & Rosell, 2007). Los lípidos que contiene el grano se encuentran predominantemente en el germen y en la capa de aleurona, la fracción lipídica se divide en compuestos saponificables e insaponificables, pero los saponificables se subdividen en polares los cuales son monoglicéridos, diglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos y glicolípidos y no polares son triglicéridos (Manrique, 2013), el trigo contiene en su mayoría ácidos grasos, glicéridos, galactogliceridos, esteroides, dioles, tocoferoles, fosfolípidos como la lecitina y glucolípidos (Matz, 1999).

1.4.4.1. Gluten

Está compuesto de dos grupos de proteínas; gliadinas y gluteninas, constituyendo alrededor del 80% de la proteína total presente en el grano de trigo. Para su formación requiere la presencia de agua y acción mecánica, esto le confiere propiedades de extensibilidad, retención de burbujas de aire y CO₂. Cuando interactúa con otros componentes se logra el proceso de panificación, brindando volumen, textura y reforzando al almidón, por ejemplo, en la presencia de lípidos forma estructuras complejas dando estabilidad a la miga presente en el producto final. Durante la fermentación empiezan a desarrollarse burbujas de gas en la masa por la acción de la levadura, originando que la masa se vuelva elástica para atrapar estas partículas evitando que suban a la superficie permitiendo que se expandan durante el horneado para proporcionar una miga expandida y un pan con un gran volumen, para esto es necesario el gluten (Uthayakumaram & Wrigley, 2010).

1.4.5. Harina de trigo

La producción de las harinas se lleva a cabo por una molienda que consiste en un proceso de reducción gradual (Seghezzeo *et al.*, 2006), con el fin de recuperar el endospermo adherido al salvado (pericarpio) y germen que al tener un alto contenido de grasa provoca enranciamiento de la harina, disminuyendo su calidad, la harina se obtiene al reducir el endospermo (Osella *et al.*, 2006). Del trigo duro o blando se obtiene los siguientes productos:

Sémola: Es una harina de gránulo grueso libre de tegumentos y germen, y se obtiene de la molienda del trigo maduro.

Harinas: Es un polvo obtenido de la molienda del grano maduro, entero o quebrado, limpio, sano y seco. Existen diferentes tipos de harinas como lo son:

- Harina extrafina
- Harina fina.
- Harina semifina.
- Harina suave (galletas)

La composición química de la harina (tabla 3) contiene entre un 65 y un 70% de almidones, y un contenido proteico que va de 9 al 14%, además de contener otros componentes como celulosa, grasas y azúcar (CANIMOT, 2019).

Tabla 3. Composición química de harina de trigo.

	Humedad (%)	Proteínas (%)	Fibra (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)
<i>Harina de trigo</i>	9	9.2	0.6	1.1	0.6

Fuente: Estévez *et al.*, 2009.

Derivado del tratamiento que debe seguir el grano de trigo para la obtención de harina, así como la molienda donde pierde buena parte de su estructura anatómica, la harina que se obtiene presenta en su composición una reducción de su valor nutritivo a comparación con el grano entero, y en relación con el grado de extracción o refinamiento la harina se vuelve más blanca

con una mayor pérdida de nutrientes entre los cuales las proteínas son las de mayor importancia. (Hernández & Sastre, 1999). Una alternativa para compensar la pérdida de estos nutrientes, es la adición de harinas integrales, donde se conserva una mayor parte de la estructura del grano, también se pueden añadir harinas de otros cereales que contengan en su composición una mayor cantidad de los compuestos requeridos, un ejemplo de esto, es la adición de harina de amaranto ya que este pseudocereal presenta un contenido de proteínas superior al del trigo, pudiendo fungir como complemento (Bracho, 2019).

1.5. Amaranto

La palabra amaranto es de origen griego y significa “eterno” o “perdurable. Es una planta de cultivo anual originaria del continente americano. Desde tiempos remotos, el amaranto ha tenido un papel importante en la alimentación humana, se cree que, junto con el maíz, es uno de los cultivos más antiguos en México, específicamente en Tehuacán, Puebla, y que ha logrado persistir como parte de la agricultura tradicional. Además de la alimentación, el amaranto tenía importancia religiosa, debido a que era utilizado en ceremonias y rituales de las civilizaciones prehispánicas como son la azteca y maya, sin embargo, con la llegada de los conquistadores su uso fue prohibido, ocasionando con esto una disminución drástica en su producción llegando casi a desaparecer (Mapes, 2010; Salazar *et al.*, 2013).

Actualmente existe un renovado interés por la producción de amaranto, ya que desde el siglo pasado se han resaltado sus propiedades nutritivas, su gran potencial en la elaboración de nuevos productos y sus ventajas agrícolas, pues desde el punto de vista agronómico, es un cultivo altamente resistente a las condiciones adversas como calor y sequía, convirtiéndolo en una alternativa para subsanar los problemas alimenticios de los países en desarrollo. También tiene como ventaja que se puede aprovechar la mayor parte de la planta puesto que igualmente se consumen las hojas y los tallos cuando estos son tiernos, sin embargo la parte más utilizada es la semilla, la cual una vez limpia y seca puede ser almacenada por prolongados periodos de tiempo (García, 2012; Mapes, 2010).

Las semillas o granos de amaranto pertenecen a la familia de los pseudocereales, los cuales son plantas que deben su nombre a que su aspecto y usos son similares a los de los cereales, aunque desde el punto de vista botánico no correspondan a las gramíneas por diferencias en sus

estructuras. El amaranto posee gran versatilidad en su uso pues puede emplearse como granos enteros o reventados, con los que se elaboran muchos productos de la confitería mexicana, por ejemplo, las tradicionales alegrías; también se obtiene harina mediante la molienda de los granos y esta se emplea en los procesos de panificación elevando su valor nutritivo debido a la alta calidad nutrimental que tiene el amaranto (Chmelík *et al.*, 2019; García, 2012).

1.5.1. Taxonomía, botánica y descripción de la planta.

- Reino: Vegetal
- División: Fanerogama
- Tipo: Embryophyta siphonogama
- Subtipo: Angiosperma
- Clase: Dicotiledoneae
- Subclase: Archyclamidae
- Orden: Centrospermales
- Familia: Amaranthaceae
- Género: *Amaranthus*
- Especies: *caudatus*, *cruentus* e *hypochondriacus*.

El amaranto es una planta dicotiledónea, herbácea o arbustiva de varios colores que van desde el verde hasta el púrpura con distintas coloraciones intermedias. Presenta flores unisexuales, pequeñas, estaminadas y pistiladas. Es de cultivo anual y pertenece a la familia *Amaranthaceae*, esta familia comprende más de 60 géneros y cerca de 800 especies que se producen como vegetales, semillas, plantas ornamentales y plantas de tinte en las regiones tropicales, subtropicales y templadas. Dentro de estas especies, tres son las principales productoras del grano; el *A. hypochondriacus* y el *A. cruentus* cultivados en México y Guatemala; y el *A. caudatus*, que se siembra en Perú (García, 2012; Jimoh *et al.*, 2018).

***Amaranthus caudatus*:** Originario de la región andina, cultivado para consumo y se comercializa como planta ornamental principalmente en Europa y Norteamérica. Esta especie es de rápido crecimiento y se adapta mejor a las bajas temperaturas a comparación con las otras dos. Presenta tonalidad oscura generalmente, tanto las hojas como las ramas forman un

tallo central y se hallan también en la base de la planta, confiriéndole la forma de un cilindro irregular cuya altura va hasta los 1.5 o 2.5 metros (figura 16). Las semillas son blancas o amarillentas de 1 mm de diámetro, se encuentran en panículas que se elevan de forma lateral a manera de cola o cauda, he ahí el origen de su nombre. Crece en zonas de Perú, Bolivia y Argentina (Chagaray, 2005; Espitia-Rangel et al., 2010).



Figura 16. A Caudatus.
Fuente: Alamy.

***Amaranthus cruentus*:** Especie originaria de América Central, cosechada y ampliamente distribuida a lo largo de Guatemala y el sureste de México, siendo uno de los cultivos más antiguos de acuerdo a hallazgos arqueológicos encontrados (figura 17). Se llega a consumir como hortaliza, pero el objetivo principal de su producción es la obtención del grano. Presenta inflorescencia en tonos generalmente verdes, amarilloso rojos y alcanza alturas de 1.5 a 2.2 metros (Chagaray, 2005; Espitia-Rangel et al., 2010).

Figura 17. A Cruentus.
Fuente: Alamy



Figura 18. A. hypochondriacus.
Fuente: Naturalista

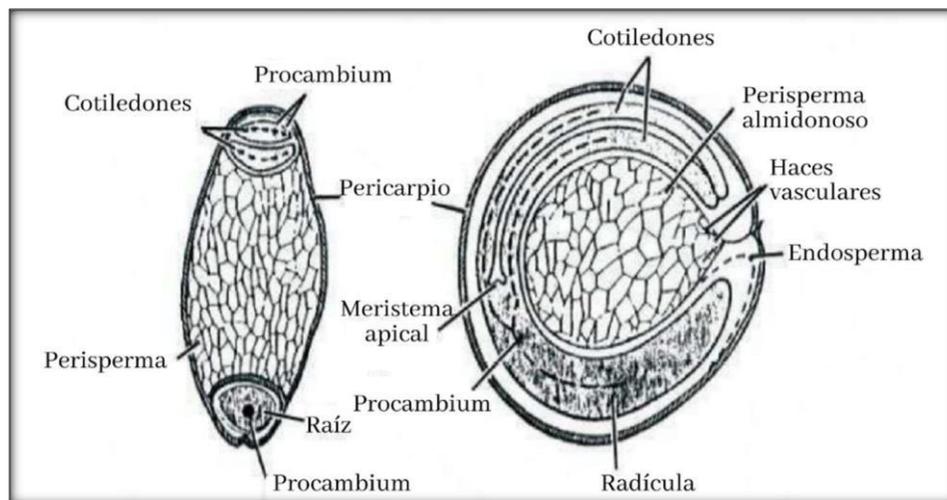
***Amaranthus hypochondriacus*:** Cultivo para obtención de grano. Es originario de la parte central de México; cosechado desde el tiempo de los aztecas, actualmente se sigue cultivando y se encuentra ampliamente distribuido en su país de origen, también en los Himalayas, Nepal, y el sur de la India. La especie más común y de mayor rendimiento en México. Esta planta alcanza los 1.5 metros de altura; tiene el tallo rojizo, ramificado desde cerca de la base y con estrías; sus hojas son largamente pecioladas, ovaladas y con coloraciones rojas, verdes o una combinación de ambos; la semilla generalmente es de color blanco (figura 18). Su domesticación fue posterior a la del *A. cruentus* (Chagaray, 2005; Espitia-Rangel et al., 2010).

En cuanto a las características generales de la planta; su raíz es pivotante con abundante ramificación, la raíz principal es corta y sirve como soporte a la planta, mientras que múltiples raicillas delgadas se dirigen al suelo permitiendo la absorción de agua y nutrientes. El tallo es cilíndrico, anguloso, con gruesas estrías longitudinales, presenta distintas coloraciones que generalmente coinciden con el color de las hojas y alcanza de 0.4 a 3 metros de longitud. Las hojas son pecioladas, de formas ovales o elípticas, distribuidas de manera opuesta o alterna, por lo regular son lisas y con tonos verdes a púrpura, tienen un tamaño entre 6.5 y 15 cm el cual disminuye de la base al ápice. Su inflorescencia corresponde a panojas glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, varían de totalmente erectas hasta decumbentes, presentan colores como el amarillo, anaranjado, café, rojo, rosa o púrpura; el tamaño varía de 0.5 a 0.9 m pudiendo presentar diversas formas (García, 2012).

En lo referente al fruto; es una cápsula pequeña, la que a medida que madura se abre transversalmente dejando caer la parte superior llamada opérculo para dejar al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla. La semilla es pequeña, lisa, brillante, ligeramente aplanada, con tonalidades que van desde el blanco, amarillo, dorado, hasta rojos, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo, con un diámetro entre 1 y 1.5 mm.

1.5.2. Morfología del grano de amaranto.

En la figura 19 se muestran las partes principales del grano, una de ellas es el pericarpio; es una capa externa formada por células pigmentadas, cuya función es recubrir el grano como protección ante agentes bióticos y temperatura, además impide la pérdida de la humedad. Se compone principalmente de hidratos de carbono y minerales. Está fuertemente asociada con el perisperma ya que ambas estructuras presentan ausencia de paredes celulares. Por otro lado, el embrión es la conformación que encierra el eje donde puede originarse una nueva planta; está compuesta por lípidos, no tiene almidón y se une a las células de la gruesa pared del endospermo. A su vez, el endospermo es la estructura predominante en el grano, contiene almidón y proteínas principalmente. Es consumido durante el desarrollo del embrión hasta casi desaparecer en la semilla madura, la mayor cantidad del remanente está unida al pericarpio alrededor de la radícula y de las puntas de los cotiledones (Roa, 2015).



*Figura 19. Morfología del grano de amaranto.
Fuente: Roa, 2015.*

Mientras tanto, el perisperma constituye el tejido de almacenamiento, sus células presentan pequeños gránulos poliédricos que contienen almidón formado a su vez por amilosa y amilopectina. Debido a la estructura y morfología del amaranto, es posible obtener diferentes fracciones con composición desigual, por medio de distintos métodos de molienda, con el fin de aprovechar y diversificar el uso industrial del grano (Roa, 2015).

1.5.3. Producción

Actualmente, el amaranto es uno de los cultivos que permanece presente en la agricultura mexicana, principalmente en la Sierra Madre Occidental. Esto se debe a su uso en la elaboración de dulces típicos como la tradicional alegría, complemento alimenticio, en productos dietéticos y tiene importante presencia en la industria por su tipo de aceites, almidones y proteínas. Según registros del Atlas Agroalimentario, en el 2017 se cubrió la demanda de amaranto para México, lo que permitió exportar 41 toneladas. Además, la SAGARPA informa que dicho producto de origen mexicano ya se comercializa en diferentes regiones de Norte, Centro y Sur de América, así como de Europa.

Según la SAGARPA, en 2018 la producción de amaranto superó las 7 mil toneladas; se cosecharon más de 3 mil 500 hectáreas de este alimento y se colocaron como los principales productores el estado de Puebla, Tlaxcala y Estado de México, seguidos de Morelos, CDMX, Michoacán y Oaxaca. Además, con el objetivo de mejorar y aprovechar el cultivo de este grano, en 2019 los principales estados productores elaboraron lo que se denomina como Plan Nacional para el desarrollo Sustentable del Amaranto que impulsará el aumento en la producción del grano ya que por su alto valor nutricional se le considera parte básica en la alimentación de los mexicanos (SAGARPA, 2019).

1.5.4. Composición química.

La composición del grano de amaranto presenta una combinación de aminoácidos, almidones y lípidos únicos que le confieren un equilibrio nutricional representativo. Estudios demuestran que el componente principal en las semillas de amaranto es la proteína, la cual es mayor en comparación con otros granos de cereales, y más allá del alto valor que presenta, su importancia radica en la calidad nutricional de la misma debido a su balance de aminoácidos esenciales y biodisponibilidad, además de que no contiene gluten, lo que garantiza una fuente alternativa de nutrientes para las personas con enfermedad celiaca. Así mismo, posee ácidos grasos poliinsaturados, y en la semilla contiene minerales como el hierro, calcio, magnesio y fósforo, además de una gran cantidad de fibra que también supera al contenido presente en los cereales (García, 2012; López *et al.*, 2019).

En promedio este grano contiene entre 14 y 19% de proteína, con un balance de aminoácidos esenciales como; histidina, isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina, valina y lisina, este último es de suma importancia ya que es deficiente en los cereales mientras en el amaranto es significativamente mayor, por ejemplo, el contenido de lisina presente en el amaranto es el triple que en el maíz y superior también al que se encuentra en el trigo y arroz. Las principales fracciones proteicas presentes son las albúminas, globulinas y glutelinas; las dos últimas constituyen las principales proteínas de reserva del grano, ubicadas en el embrión y el endospermo (Chmelík *et al.*, 2019; Roa, 2015).

Tabla 4. Composición química del grano de amaranto.

(%)	A. cruentus	A. caudatus	A. hypochondriacus
<i>Humedad</i>	9.7	10.7	10.8
<i>Proteína</i>	17.0	14.9	15.5
<i>Extracto etéreo</i>	8.1	9.1	5.4
<i>Ceniza</i>	3.5	2.9	3.6
<i>Fibra cruda</i>	3.4	2.8	2.6
<i>Carbohidratos</i>	67.4	70.3	62.1
<i>Caloría/100 g</i>	405	414	359

Fuente: (Bressani, 2006)

En la tabla 4 se muestra que, además de las proteínas, el componente más abundante en el grano de amaranto son los carbohidratos cuyo valor rebasa el 50% y la mayor parte de estos corresponde al almidón, contenido en gránulos de tamaño micrométrico, entre 1 y 3 μm . También se ha descrito que el almidón de amaranto tiene una baja concentración de amilosa lo cual le confiere la propiedad de ser poco viscoso y muy soluble en agua. Se han descrito minuciosamente las características del almidón de varias especies de amaranto y se encontró que su contenido de amilopectina y la ramificación de la misma, afecta de manera importante las propiedades reológicas y de panificación (Algara *et al.*, 2016).

Referente al contenido de grasa, está presente en 6 a 9%, siendo más alto que en la mayoría de cereales, con un predominio de ácidos grasos insaturados (75%), el ácido linoleico se encuentra en mayor proporción, seguido por el oleico y palmítico, además del ácido esteárico y linolenico, ubicados generalmente en lo que corresponde al germen del grano. Se han cuantificado también un 2.8 a 7.8% de tocoferoles y tocotrienoles. Sumado a esto, la fracción oleosa de las semillas de amaranto es rica en escualeno, hidrocarburo poliinsaturado al que se le atribuyen muchas propiedades, encontrado abundantemente en el aceite de tiburón (Algara *et al.*, 2016; Chmelík *et al.*, 2019).

1.5.5. El amaranto como alimento funcional

El concepto de alimentos funcionales se refiere a los productos alimenticios que, además de ser una fuente de compuestos nutricionales, brindan otros beneficios a los consumidores tales como reducir el riesgo de sufrir enfermedades. El término fue propuesto en Japón en la década de los 80's, con la publicación de la reglamentación para los "Alimentos para uso específico de Salud". Es precisamente por las funciones que desempeñan en partes específicas del cuerpo, que se han vuelto muy populares en los últimos años y adoptados aún por países alejados de sus sitios de origen. Sus propiedades bioactivas surgen de compuestos ya identificados de efectos beneficiosos probados, mientras que otros están respaldados por la medicina tradicional (Leidi *et al.*, 2018; Salazar *et al.*, 2013).

Tabla 5. Contenido de aminoácidos esenciales en el grano de amaranto

<i>Lisina</i>	358
<i>Treonina</i>	245
<i>Metionina</i>	124
<i>Cistina</i>	125
<i>Valina</i>	257
<i>Isoleucina</i>	230
<i>Leucina</i>	358
<i>Fenilalanina</i>	272
<i>Tirosina</i>	227
<i>Triptófano</i>	86
<i>Histidina</i>	159
<i>Arginina</i>	534

Fuente: (Bressani, 2006)

El amaranto es el producto de origen vegetal más completo con alto valor nutritivo. Como ya se mencionó, el contenido de proteínas en este grano es elevado, y a la par, la presencia de aminoácidos esenciales (tabla 5) como lisina que junto con arginina infieren en la producción

de la hormona del crecimiento, participan en el desarrollo muscular, absorción de calcio y producción de colágeno. Aunado a esto, se ha demostrado que las proteínas del amaranto son una fuente de péptidos bioactivos que se obtienen por medio de hidrólisis enzimática. Se han encontrado péptidos con actividad anticancerígena y se ha comprobado mediante pruebas *in vivo* e *in vitro*, que las proteínas de este pseudocereal tienen péptidos con propiedades antihipertensivas que actúan a través de distintos mecanismos (Suárez *et al.*, 2020).

Dentro del contenido de lípidos, se encuentran las grasas insaturadas, tales como el ácido linoleico también conocido como aceites Omega-3 los cuales han cobrado gran interés debido a descubrimientos sobre sus beneficios a la salud y en contra de algunos problemas cardiovasculares. También destaca el contenido de escualeno, al que se le han atribuido propiedades hipocolesterolémicas, ya que es un intermediario en la biosíntesis del colesterol y además de disminuirlo presenta un efecto antioxidante y antiinflamatorio. Se considera al amaranto como la especie vegetal que contiene mayor cantidad de este hidrocarburo, con concentraciones entre 10.4 y 73 g/kg de aceite (Algara *et al.*, 2016; Bojórquez-Velázquez *et al.*, 2018).

Otro nutriente que ha cobrado importancia actualmente es la fibra dietética, que se encuentra en el grano de amaranto en cantidades que oscilan entre el 8 y 16%, de la cual el 33-44% es soluble. Existe evidencia que relaciona bajos niveles de fibra dietaria con enfermedades del intestino grueso, riesgo de aparición de obesidad, enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2, debido a que la fibra desempeña un papel importante en distintas funciones fisiológicas y en contraste puede ser usada en la prevención o tratamiento de algunas enfermedades; también se asocia con la regulación del colesterol. Por otro lado, se descubrió que la composición de monosacáridos de fibra insoluble de amaranto es glucosa (57%), arabinosa (22%), xilosa (9%), galactosa (6%), ramnosa (4%), manosa (2%) y fucosa (1%) (Lamothe *et al.*, 2015).

Por lo tanto, se considera al amaranto como un alimento funcional, derivado de su contenido de compuestos funcionales. Aunado a esto, es un grano muy versátil, con gran aceptación en su ingesta; su sabor es aceptable al consumidor además de que mejora el valor nutritivo de los productos en los que se implementa. Existen referencias de su uso en productos de panificación, confitería, entre otros, donde mejora la calidad sin afectar drásticamente sus características sensoriales, es por ello que se estima al amaranto como candidato para elaborar productos

nutritivos, funcionales, con una buena aceptación del consumidor; de igual manera, puede ser sustituto de algunos ingredientes de los cuales se ha demostrado su bajo aporte de compuestos benéficos para el organismo, como es el caso de la harina refinada de trigo (Bracho, 2019; Hernández & Sastre, 1999).

1.6. Compuestos funcionales.

Los compuestos funcionales o bioactivos, pueden ser tanto macronutrientes con efectos fisiológicos específicos, así como micronutrientes esenciales, también se consideran funcionales a los componentes alimenticios que, aunque no tengan un valor nutritivo o no sean esenciales, su consumo ejerce efectos farmacológicos permitiendo regular funciones terapéuticas en el cuerpo que resultan benéficas para la salud. Además de ser consumidos en los alimentos, estos componentes suelen distribuirse como suplementos dietéticos que se ingieren en forma concentrada; en píldoras, cápsulas o tónicos. Los alimentos de origen vegetal representan una fuente potencial de estos compuestos funcionales, como es el caso de las frutas, leguminosas o cereales (Drago *et al.*, 2006; Sarmiento, 2006).

1.6.1. Fibra dietética

Ha recibido mucha atención por parte de los nutricionistas como un ingrediente importante para mejorar la salud. Se define como aquella parte de los oligosacáridos, polisacáridos y sus derivados, que no puede ser descompuesta en componentes absorbibles por las enzimas digestivas humanas en el estómago e intestino delgado, y que, por lo tanto, llega intacta al colon; entre ellas se encuentra la lignina. La ingesta de este compuesto beneficia las funciones gastrointestinales, reduce el riesgo de enfermedades cardíacas crónicas, cáncer colorectal, diabetes y arteriosclerosis, además, se ha encontrado fuerte correlación positiva entre su consumo y la prevención de la obesidad, debido a que promueve la saciedad, disminuyendo la absorción de macronutrientes y alterando la secreción de hormonas intestinales (Hernández & Sastre, 1999; Sarmiento, 2006; Stojceska, 2011).

Los efectos que este compuesto tenga en el estómago y el intestino delgado, dependerán mayormente de su composición química y sus propiedades físicas. Ya que las fibras dietéticas son sustancias altamente complejas, puede clasificarse en fibras insolubles y fibras solubles, estas últimas son aquellas que tienen la capacidad de formar soluciones viscosas o geles una vez que entran en contacto con el contenido gastrointestinal. Como consecuencia de su viscosidad, las fibras solubles ayudan a regularizar el tránsito intestinal, además de que influyen en la absorción de lípidos y glucosa. Múltiples estudios han demostrado que una dieta carente de fibra produce atrofia en la mucosa del colon y puede ocasionar una reducción en la actividad de algunas enzimas (Hernández & Sastre, 1999; Stojceska, 2011).

Tradicionalmente, el pan se considera un alimento pobre en este compuesto. Para proporcionar más variedad de panes funcionales se ha implementado el uso de diferentes fuentes de fibra dietética, como salvado de trigo, centeno, arroz, entre otros, no obstante, existe una tendencia a encontrar nuevas fuentes de este compuesto funcional, de manera que se ha estudiado el valor de los subproductos de cereales y su utilización, tal es el caso del bagazo; subproducto de la industria cervecera, disponible a bajo costo y que generalmente se emplea en la alimentación de ganado (Stojceska, 2011).

1.6.2. Almidón total, digerible y resistente

El almidón es el polisacárido de reserva energética más abundante en las células vegetales, se presenta con forma de gránulos, puede hallarse en tubérculos, granos de cereales, semillas y en algunas frutas, su concentración dependerá del grado de madurez que presenten. Se considera una materia prima versátil y con un amplio rango de aplicaciones, colocándose como el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional en la industria de alimentos. Estructuralmente, el almidón se compone por dos polisacáridos: La amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero que establece largas cadenas lineales conformadas por unidades de glucosa unidas entre sí mediante enlaces α (1-4) mientras que, por su parte, la amilopectina es un polímero altamente ramificado de alto peso molecular (Hernández-Medina *et al.*, 2008; Leonel *et al.*, 2019).

Con base en los resultados de digestibilidad *in vitro*, se puede clasificar en almidón digerible y almidón resistente; a la suma de estos dos se le conoce como almidón total. El digerible se puede degradar por acción enzimática, liberando monómeros de glucosa que son absorbidos en el tracto intestinal. Por su parte, el almidón resistente es de gran interés pues se considera análoga a la fibra; se define como la fracción que escapa a la digestión en el intestino delgado de individuos sanos y se produce debido a su inaccesibilidad a la amilasa. De acuerdo a la naturaleza de inaccesibilidad se distinguen cinco tipos. Tipo 1: Se encuentra en los granos y el gránulo puede estar encerrado dentro de las células o en una matriz proteica fuerte; tipo 2: Consiste en gránulos de almidón crudo que resisten la digestión de amilasa; tipo 3: Es almidón retrogradado; tipo 4: Es almidón modificado químicamente; tipo 5: Es amilosa formando un complejo con lípidos (Leonel *et al.*, 2019; Martínez-Mora, 2015).

Dentro de las ventajas tecnológicas del almidón resistente, se encuentran que, gracias a su microestructura, permite obtener productos con una mejor textura sin afectar drásticamente las características sensoriales del alimento. Es capaz de modular la cinética de absorción de nutrientes, lo que posibilita su uso en el desarrollo de productos con menor índice glucémico. También, tiene propiedades como regulador del metabolismo de la glucosa, lípidos y se ha investigado la posible asociación de este compuesto con el correcto funcionamiento de la microbiota lo que evidencia su gran potencial en el tratamiento de enfermedades crónicas (Leonel *et al.*, 2019; Martínez-Mora, 2015).

1.6.3. Compuestos fenólicos

Se denomina así a un conjunto heterogéneo de moléculas entre las cuales se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides y taninos; son metabolitos secundarios de las plantas, que poseen en su estructura al menos un anillo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo. Se ha demostrado que estas sustancias son biológicamente activas y benéficas para el organismo, entre sus funciones se encuentra; la protección contra lesiones celulares y subcelulares, inhibición del crecimiento de tumores, activación de los sistemas de detoxificación hepáticos y bloqueo de las vías metabólicas que pueden ocasionar carcinogénesis (Drago *et al.*, 2006; Mercado-Mercado *et al.*, 2013).

Existe una gran variedad de ácidos fenólicos distribuidos en productos de origen vegetal, a los cuales se les atribuyen propiedades bactericidas; inhiben la actividad de agentes mutágenos y estimulan actividad de enzimas implicadas en la eliminación de metabolitos potencialmente tóxicos. Otro de los beneficios de estos compuestos es que inhiben la oxidación de lipoproteínas de baja densidad, así como de ácidos grasos poliinsaturados. Su actividad antioxidante también se ha relacionado con la capacidad de prevenir falla cardíaca, enfermedad cardiovascular y neoplasias (Drago *et al.*, 2006; Mercado-Mercado *et al.*, 2013).

1.6.4. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante celular está dada por mecanismos a través de los cuales la célula anula la reactividad o inhibe la generación de radicales libres, esto se logra aumentando la velocidad de ruptura de los radicales libres o previniendo la participación de iones metálicos de transición en la generación de radicales, de esta manera se protege al organismo contra las infecciones, el deterioro celular, envejecimiento prematuro y, probablemente, del cáncer. Estos mecanismos comprenden moléculas pequeñas, endógenas y exógenas con capacidad antioxidante, dentro de las cuales se encuentran un grupo de vitaminas, minerales y enzimas. Los antioxidantes exógenos provienen de la dieta, entre ellos se incluyen la vitamina E, C, y los carotenoides. La vitamina C constituye el antioxidante hidrosoluble más abundante en la sangre, mientras que la vitamina E es el antioxidante lipofílico mayoritario (Avello & Suwalsky, 2006).

La mayoría de estos antioxidantes se encuentran presentes en aceites vegetales, semillas, frutas y verduras; carnes como el pollo y pescados. Recientemente se han descubierto en algunos alimentos otros antioxidantes no nutrientes; los compuestos fenólicos. Algunas fuentes son las leguminosas, cítricos, frutas, verduras, también se han encontrado algunos antioxidantes fenólicos en el café, vino tinto y té. Por esta razón, la forma de suplir los antioxidantes para proteger al organismo del efecto oxidativo producido por los radicales libres es el consumo de alimentos ricos en sustancias que tienen función antioxidante, entre ellos los compuestos fenólicos (Avello & Suwalsky, 2006; Repo & Encina, 2008).

1.7. Factores antinutrimientales.

Los cereales son alimentos completos, cuya razón principal de su consumo es que son muy importantes para el suministro de energía y proteína en la dieta humana desde hace muchos años; sin embargo, algunas semillas presentan en su composición sustancias antinutrimientales (Elizalde *et al.*, 2009). Los componentes antinutrimientales son aquellos que afectan el valor nutricional disminuyendo la calidad de los alimentos, esencialmente de las semillas, dificultando o inhibiendo la asimilación de nutrientes cuando se introducen en el organismo ya que interfieren con el metabolismo, además disminuyen la biodisponibilidad de los nutrimentos.

1.7.1. Ácido Fítico

El ácido fítico o hexafosfato de mioinositol, y sus sales que se conocen como fitatos, son una forma de almacenamiento de fósforo en la mayoría de las leguminosas y cereales, siendo que desde el 10 hasta el 75% del contenido total de fósforo en las plantas está presente en las semillas. Los fitatos tienen la función de regular diversas actividades celulares como la reparación del ADN, así como potencializar las hormonas para el desarrollo de nuevas plantas, no obstante el ácido fítico se considera un anti-nutriente porque tiene fuerte afinidad a los minerales esenciales como el Ca, Zn y Fe impidiendo la absorción de estos nutrientes ocasionando que presenten baja disponibilidad, por lo tanto al consumir dietas con alto contenido de dicho ácido puede conducir a una deficiencia en los minerales antes mencionados (Frontela *et al.*, 2008; Ma *et al.*, 2013; Mohan *et al.*, 2015).

1.7.2. Inhibidores tripsina

Son sustancias de carácter proteico que se encuentran en leguminosas y plantas, se conoce que afectan la digestibilidad de las proteínas intestinales debido a que inhiben la actividad de las enzimas responsables de la hidrólisis. Son probablemente, los factores anti-nutrimientales más conocidos, se encuentran principalmente en semillas, aunque también pueden tener presencia en otros alimentos como huevo y leche. Los inhibidores de tripsina pueden causar hipertrofia e hiperplasia pancreática, así como hipersecreción enzimática lo que produce una pérdida de proteínas endógenas ricas en azufre. En contraste, existe evidencia que al consumir alimentos

que contengan inhibidores de tripsina ayuda con el tratamiento del cáncer de mama en los seres humanos (Elizalde *et al.* 2009; Hill, 2003; Guillamón *et al.* 2008).

1.7.3. Taninos

Los taninos son compuestos polifenólicos de alto peso molecular que se encuentran en las plantas protegiéndolas contra ataques de microorganismos. Los taninos se dividen en hidrolizables o condensados (no hidrolizables), donde los condensados pueden precipitar proteínas, particularmente las enzimas digestivas. Estos son capaces de unirse a enzimas, proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, saponinas, y formar complejos con el hierro de los alimentos, retrasando la digestibilidad de las proteínas y los carbohidratos, además dicha interferencia permite la liberación de glucosa, dando como resultado altos niveles de este azúcar en la sangre (Elizalde *et al.*, 2009; Mohan *et al.*, 2015).

Con base en lo expuesto hasta ahora, se considera factible combinar el proceso de elaboración de cerveza con un proceso de panificación, implementando el grano de amaranto como materia prima en ambos procesos, esperando que, debido a sus características, este pseudocereal permita mejorar la calidad funcional y nutrimental de los productos finales. También se considera provechoso emplear como materia prima el subproducto de la cerveza (bagazo) ya que, debido a su composición química rica en fibra, también podría aportar mejores características al pan, reduciendo también el impacto ambiental que tienen los residuos de la industria cervecera.

CAPITULO II: DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Desarrollar una formulación para la elaboración de un pan tipo baguette a partir de amaranto y bagazo residual del proceso de fabricación de cerveza artesanal tipo weizen con amaranto, para aprovechar los residuos generados por la industria cervecera y obtener un producto con alta calidad nutrimental.

2.1.2. Objetivos particulares

Objetivo particular 1: Elaborar una cerveza tipo weizen a partir de una combinación de malta de cebada y amaranto obteniendo bagazo como subproducto para emplearlo junto con la cerveza en la elaboración de un pan tipo baguette.

Objetivo particular 2: Evaluar las propiedades fisicoquímicas (% Vol. Alc., °Brix y densidad) de la cerveza tipo weizen para lograr obtener un producto estandarizado.

Objetivo particular 3: Determinar la calidad nutrimental (análisis químico proximal, cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro* almidón digerible) y funcional (fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos) de las materias primas empleadas en la elaboración del pan (harinas de trigo, harina de amaranto, y bagazo) y la cerveza (malta de cebada y amaranto) para conocer si pueden complementarse mejorando la calidad del pan.

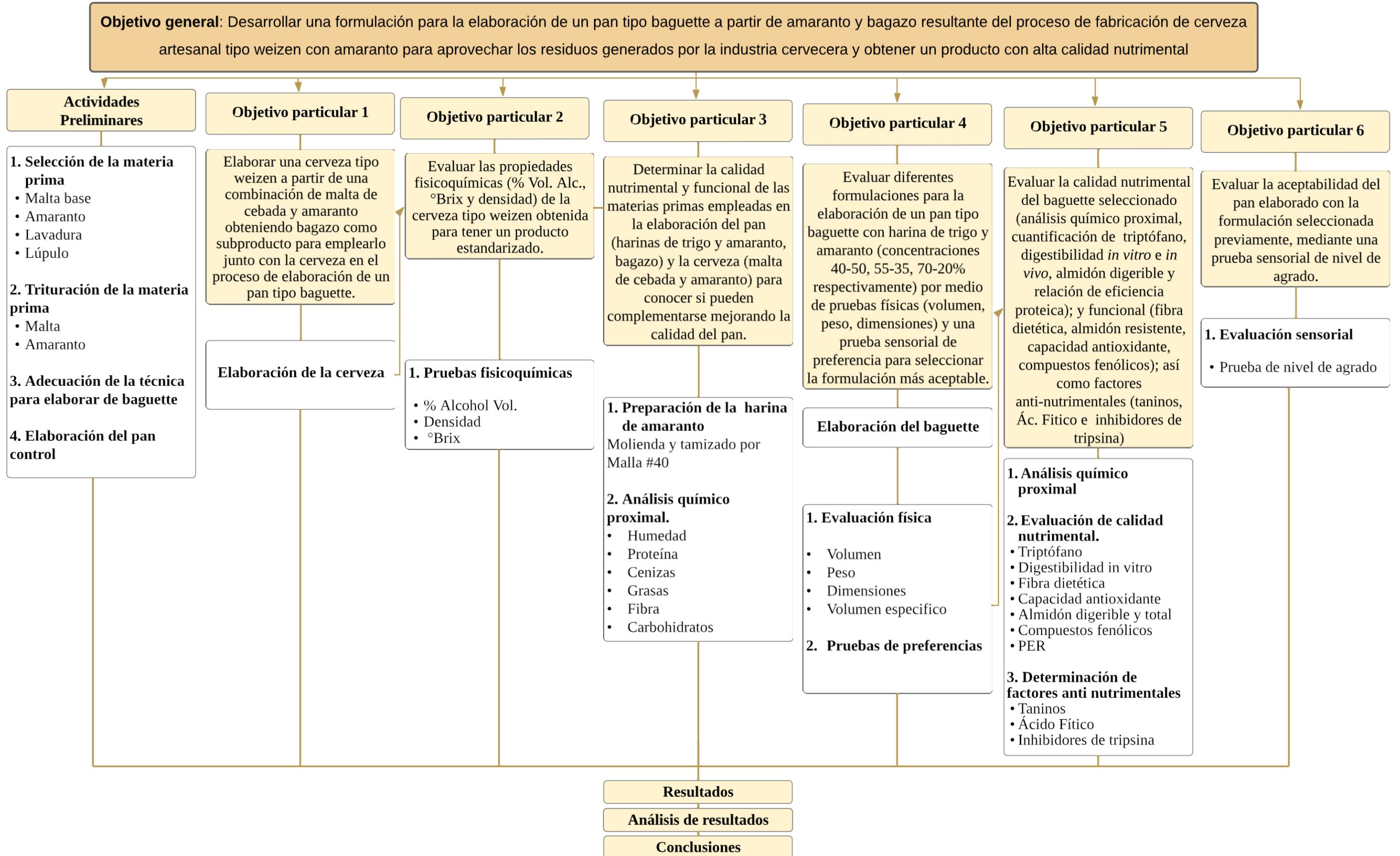
Objetivo particular 4: Evaluar diferentes formulaciones para la elaboración de un pan tipo baguette con harina de trigo y amaranto (concentraciones 40-50%, 55-35%, 70-20% respectivamente) por medio de pruebas físicas (volumen, peso, dimensiones) y una prueba sensorial de preferencia para seleccionar la formulación más aceptable.

Objetivo particular 5: Evaluar la calidad nutrimental del baguette seleccionado (análisis químico proximal, cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, almidón digerible y relación de eficiencia proteica); y funcional (fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos); así como factores anti-nutrimientales (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina).

Objetivo particular 6: Evaluar la aceptación del pan elaborado con la formulación seleccionada previamente, mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.

2.2. Cuadro metodológico

Elaboración de pan con amaranto y bagazo obtenido a partir de cerveza artesanal tipo weizen

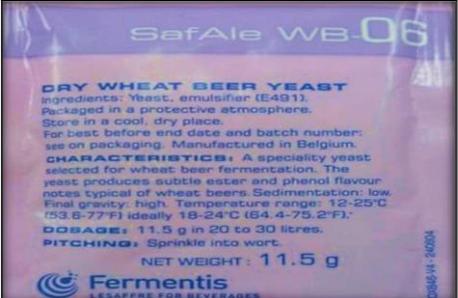


2.3. Materiales biológicos

- Cerveza

En la tabla 6. Se muestra los materiales que se utilizaron para la elaboración de la cerveza tipo weizen.

Tabla 6. Materiales biológicos de la cerveza.

<p>Malta base</p> 	<p>Malta esperanza de 6 hileras donada por Extractos y Malta S.A de C.V. del grupo Modelo, se molió con un molino de discos Herradura®, con una abertura de 0.5 cm.</p>
<p>Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>)</p> 	<p>Amaranto de Tulyehualco, Xochimilco cosecha 2014, se molió con un molino de cuchillas Krups®.</p>
<p>Lúpulo</p> 	<p>Lúpulo Hallertau que se utiliza para cervezas de estilo weizen.</p>
<p>Levadura</p> 	<p>Levadura Safbrew Wb-06 utilizada en la elaboración de cerveza weizen.</p>

- Baguette

En la tabla 7. Se observan los materiales biológicos que se manejaron para la elaboración del baguette.

Tabla 7. Materiales biológicos para elaborar baguette.

<p>Harina de trigo</p> 	<p>Harina de trigo marca Tres estrellas.</p>
<p>Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>)</p> 	<p>Amaranto de Tulyehualco, Xochimilco cosecha 2014, se molió con un molino de cuchillas Krups® y tamizado con una malla40.</p>
<p>Bagazo</p> 	<p>Grano gastado que se obtuvo de la elaboración de la cerveza (malta base yamaranto).</p>
<p>Levadura</p> 	<p>Levadura marca La Florida</p>

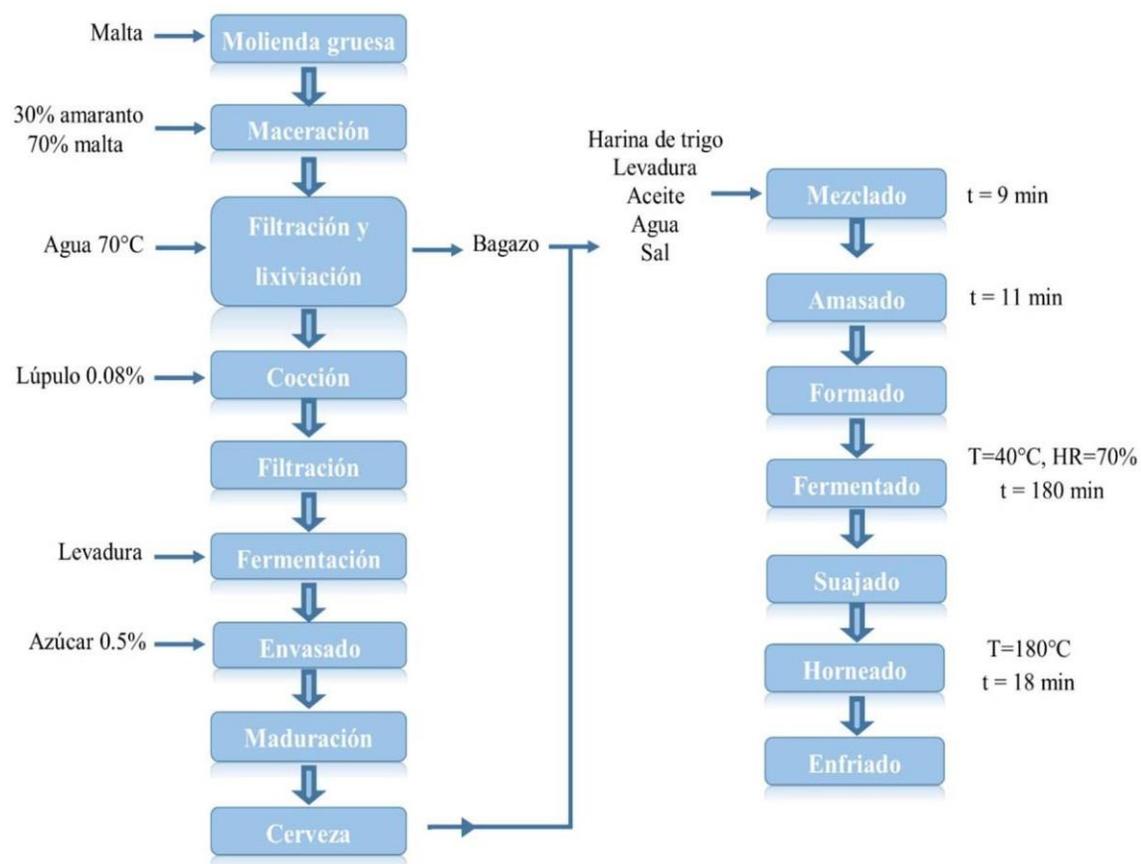
2.4. Elaboración de baguette.

Se elaboró un baguette control con la formulación que se presenta a continuación.

Tabla 8. Formulación control.

<i>Ingredientes</i>	<i>%</i>
<i>Harina de trigo</i>	56.51
<i>Agua</i>	42.95
<i>Levadura</i>	0.20
<i>Sal</i>	0.34

2.5. Diagrama de proceso



2.5.1. Descripción del proceso

- **Elaboración de la cerveza**

1.- Realizar la molienda de la malta y los granos de amaranto (figura 20).



Figura 20. Molienda del amaranto

2.- Macerar la malta junto con el amaranto en 4 etapas cuyas condiciones se muestran en la tabla 9. Una vez alcanzada la temperatura se deja reposar en un recipiente aislado térmicamente como se muestra en la figura 21.

Tabla 9. Etapas de maceración.

<i>Etapa</i>	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo de reposo (min)	Temperatura (°C)
<i>1</i>	0-15	0	45
<i>2</i>	15-75	60	60
<i>3</i>	75-95	20	70
<i>4</i>	95-97	2	78



Figura 21. Maceración

3.- Filtrar la mezcla obtenida de la maceración.

3.1.- Para la lixiviación, añadir agua caliente (70°C), correspondiente al 20% del mosto obtenido, la cual se vierte sobre la torta que se forma en la rejilla (figura 22). De esta etapa del proceso se obtiene el bagazo que se empleará en la elaboración del pan.



Figura 22. Filtrado

4.- Realizar la cocción del mosto a 90 °C durante 55 minutos. En esta etapa se añade el lúpulo (0.08% por cada litro de mosto), el 30% de este se agrega 15 minutos después de empezar la ebullición y el 70% restante se añade 15 minutos antes de terminar la cocción.

4.1.- Activar la levadura (1 g por cada 2 litros de mosto) 15 minutos antes de terminar la cocción para que esté lista cuando sea requerida.

5.- Filtrar el mosto, esto para retirar los restos de lúpulo presentes. Después, disminuir rápidamente la temperatura del filtrado como se muestra en la figura 24, debe llegar hasta 24 °C.



Figura 23. Enfriamiento del mosto

6.- Añadir la levadura al mosto una vez que alcanza una temperatura de 24 °C, colocar en un recipiente esterilizado y cerrar colocando un airlock (figura 25). Dejar fermentar durante 7 días en ausencia de luz y a una temperatura aproximada de 20 °C.



Figura 24. Fermentación

7.- Transcurrido el tiempo de fermentación, envasar la cerveza añadiendo azúcar (0.5%). En la figura 25, se muestra cómo se debe colocar la tapadora de mano italiana.



Figura 25. Sellado

8.- Madurar durante 7 días la cerveza envasada (figura 26).



Figura 26. Maduración

- **Elaboración de baguette**

9.- Para la elaboración del baguette, realizar el mezclado por 11 minutos de las materias primas en las cantidades requeridas (figura 27), añadir primero los ingredientes secos y al final los húmedos.



Figura 27. Mezclado

10.- Amasar manualmente durante 9 minutos.

11.- Al terminar el tiempo de amasado, darle la forma alargada característica del baguette.

12.- Fermentar durante 3 horas a una temperatura 40 °C y humedad relativa de 70% (figura 28).



Figura 28. Fermentación

13.- Transcurrido el tiempo de fermentación, realizar el Suajado a la masa (figura 29), marcando las líneas características del baguette.



Figura 29. Suajado

14.- Hornear por 18 minutos a una temperatura de 180 °C (figura 30).



Figura 30. Horneado

15.- Dejar enfriar a temperatura ambiente (figura 31).



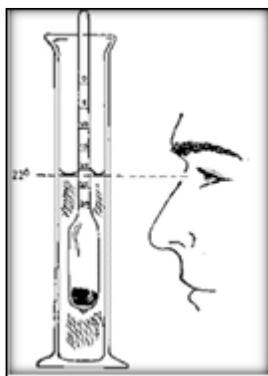
Figura 31. Enfriado

2.6. Pruebas fisicoquímicas de la cerveza

2.6.1. % Alc. Vol. Porcentaje de alcohol en volumen

Fundamento: El porcentaje de alcohol se forma durante la etapa de fermentación del mosto, aportando las características de la cerveza (NOM-142-SSA1-1995).

Procedimiento: Lectura con el hidrómetro, es necesario colocar el ojo de manera que observe adecuadamente las rayas que se formó como se representa en la figura 32, se coloca 90 ml de cerveza en una probeta de 100 ml y se toma la temperatura de la cerveza, después se introduce el hidrómetro en la probeta (el hidrómetro no debe tocar el fondo del recipiente ni las paredes de la misma). Para tomar la lectura se debe observar el nivel del líquido en la superficie, donde se encuentre la escala de % Vol. Alc.



*Figura 32. Lectura del hidrómetro.
Fuente: NOM-142-SSA1-1995.*

2.6.2. °Brix

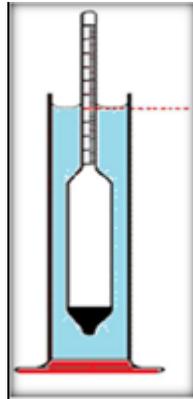
Fundamento: El hidrómetro °Brix previsto con una escala en grados Brix, cuyo cero coincide exactamente con la parte inferior del menisco, cuando se encuentra inmóvil, flotando libremente en agua destilada a 293K (20°C) (NMX-F-103-1982). ° Brix mide el cociente total de la sacarosa disuelta en un líquido.

Procedimiento: Es el mismo que se indica en el punto 2.6.1. % Alc. Vol., pero con la escalade °Brix.

2.6.3. Densidad

Fundamento: La densidad de un líquido es la masa por unidad de volumen, basándose en el principio de Arquímedes hace referencia que todo cuerpo que es sumergido en un fluido experimenta una fuerza modo que se provoca un desplazamiento que es igual al peso del fluido desplazado (figura 33)

Procedimiento: Es el mismo procedimiento que el punto 2.6.1, pero en escala de densidad.



*Figura 33. Densímetro
Editado: Martínez, 2019.*

2.7. Pruebas físicas del pan

2.7.1. Volumen

Fundamento: Se determina el desplazamiento, conocido como “Panvolumenómetro” (figura 34), este se compone por dos recipientes unidos a través de una probeta graduada.

Procedimiento: La muestra se colocó en el recipiente superior y se giró 180 °C, esto ocasionó el desplazamiento de las semillas por gravedad llenando el recipiente donde se encuentra el baguette, el resto de las semillas ocupan un volumen dentro de la probeta, el cual se mide de manera directa, siendo este el volumen de la muestra. Posteriormente se realizó el cálculo del volumen específico que está relacionado con el peso de la muestra.

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Vol}_{\text{Pan}}}{P_{\text{Pan}}}$$

Donde:

Vol_{pan} = Volumen del pan (cm³)

P_{pan} = Peso del pan (g)



Figura 34. Panvolumenómetro.

2.7.2. Peso

El peso de la muestra se determinó utilizando una balanza granataria Tor Rey® L-EQ como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Balanza

2.7.3. Dimensiones

Las dimensiones de los baguettes elaborados se obtuvieron empleando un vernier (Figura 36). Para cada formulación se midió largo, ancho y altura, por triplicado.

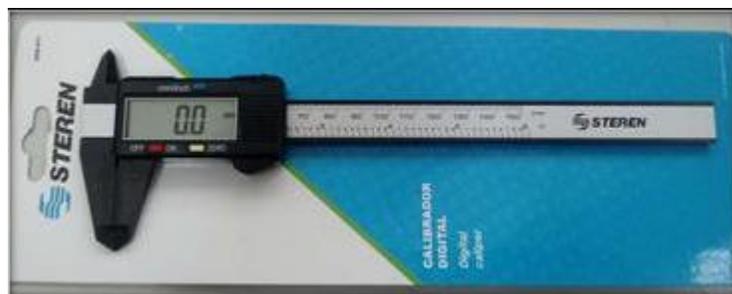


Figura 36. Vernier Digital

2.8. Composición química

2.8.1. Humedad

Fundamento: La muestra se calienta en condiciones establecidas, provocando una pérdida de peso debido a la pérdida de agua libre (AOAC, 2005).

Procedimiento: La muestra se coloca en la caja previamente puesta a peso constante, posteriormente se deja secar la muestra por 2 horas, pasado el tiempo se saca la muestra de la estufa (Figura 37) y se deja enfriar por 10 min en un desecador para que la muestra adquiera la temperatura del ambiente, después de haber transcurrido el tiempo se pesa la muestra.



Figura 37. Estufa.

Cálculo del % de Humedad

$$\% \text{Humedad} = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_1} \right) * 100$$

Donde:

W_1 =Peso de la muestra (g)

W_2 =Peso de la muestra húmeda (g)

W_3 =Peso de la muestra seca (g).

2.8.2. Proteínas

Fundamento: El método de Micro Kjeldahl cuantifica el contenido de nitrógeno en una muestra por medio de tres etapas las cuales son; la digestión, donde el nitrógeno orgánico es convertido en amonio en presencia de un catalizador; la etapa dos, se da por una destilación donde se alcaliniza con NaOH, la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de NH_3 y se atrapa en una solución de ácido bórico. El nitrógeno amónico se presenta en una disolución en la cual se cuantifica por un análisis volumétrico frente a una solución de HCl valorada (AOAC,2005).

Procedimiento: Se pesa la muestra desengrasada previamente y se introduce en un tubo de digestión Kjeldahl, se añade sulfato cúprico, sulfato de potasio, así como ácido sulfúrico, el tubo se calienta a fuego lento observando un cambio de color que pasa de negro a un verde azulado una vez que se presentó el cambio se deja enfriar a temperatura ambiente. Reposada la muestra se coloca en el destilador, se deja pasar y se le adiciona hidróxido de sodio al 40%, mientras que en un matraz se preparan 50 ml de ácido bórico y se le agrega una gota de fenolftaleína provocando un cambio de color rosado, este matraz se coloca en el destilador y esperar el cambio de color de rosa a transparente. A continuación, se titula con HCl y se calcula el porcentaje de nitrógeno total y posteriormente se calcula el porcentaje de proteína (Figura 38).

Cálculo de % Nitrógeno total

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

Cálculo de % de proteína

$$\% \text{ Proteína} = (F) (\% \text{Nitrógeno total})$$

Donde:

W = Peso de la muestra (g)

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

V₂ = Volumen (ml) de la solución de HCl requerido para la muestra

N = Normalidad del HCl

F = Factor de conversión de nitrógeno en proteína, para trigo es 5.83 y amaranto 5.87



Figura 38. Micro Kjeldahl.

2.8.3. Grasa

Fundamento: Se extraen las grasas de modo semi-continuo, con un disolvente orgánico. Se calienta y volatiliza el disolvente, para condensarse por encima de la muestra. El disolvente cae sobre la muestra para extraer las grasas. Esta muestra mide la pérdida de peso de la muestra por el peso de grasa extraída (AOAC, 2005).

Procedimiento: Se pesa la muestra molida y libre de humedad colocándolas dentro de cartuchos de celulosa y se tapa con algodón para evitar que la muestra se pierda en el proceso, los cartuchos se introducen en el extractor. El matraz se coloca debajo del extractor, después se añade el disolvente, una vez conectado se procede a la extracción por 2 horas. Pasado el tiempo se retira el cartucho, recuperar el disolvente y el restante se deja evaporar quedando solamente la grasa, posteriormente se deja enfriar el matraz para cuantificar el porcentaje de grasa extraída por diferencia del peso del matraz (Figura 39).

Cálculo del % de grasa

$$\%Grasa = \left(\frac{W_3 - W_2}{W_1} \right) * 100$$

Donde:

W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso del matraz sin grasa (g)

W_3 = Peso del matraz con grasa (g)



Figura 39. Método Soxhlet

2.8.4. Cenizas

Fundamento: Descomposición de la materia orgánica quedando sólo la materia inorgánica en la muestra. En este método toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre 550-600 °C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza. El residuo de incineración se calcula por diferencia de peso (A. O. A. C., 2005).

Procedimiento: La muestra se depositó en crisoles de incineración, previamente llevados a peso constante. Los crisoles se colocaron en un mechero encendido hasta que las llamas se apagaron y hubo ausencia de humo, posteriormente, fueron puestos dentro de la mufla (Figura 40). Se finalizó la incineración cuando el residuo era prácticamente blanco, subsecuente a esto, se permitió que la temperatura del crisol se equilibrara con la del medio ambiente y enseguida se pesó.

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W - W_1} \right) * 100$$

Donde:

W = Peso del crisol con la muestra (g)

W₁ = Peso del crisol con cenizas (g)

W₂ = Peso del crisol vacío (g)



Figura 40. Mufla

2.8.5. Fibra cruda

Fundamento: Es la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con la calcinación posterior se calculan y se obtiene la fibra cruda. Su determinación se basa en la simulación de la digestión en el organismo por tratamientos ácidos y alcalinos, separando los constituyentes solubles de los insolubles. La naturaleza química de la fibra cruda, aun cuando no está bien establecida se considera constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina (A. O. A. C., 2005).

Procedimiento: La muestra seca y desengrasada se sometió a una digestión ácida empleado ácido sulfúrico, posteriormente, se llevó a cabo una digestión alcalina con hidróxido de sodio. Transcurrido el tiempo de la digestión, se realizó un filtrado empleando un embudo Büchner, matraz kitasato conectado a vacío, y papel filtro previamente a peso constante (Figura 41). Del filtrado se obtuvo un residuo de fibra cruda y sales, el cual se calcinó para determinar el porcentaje de fibra cruda.

$$\% \text{ Fibra cruda} = \left(\frac{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)}{W_S} \right) * 100$$

Donde:

W_S = Peso de la muestra desengrasada (g)

W_1 = Peso del papel filtro (g)

W_2 = Peso del papel filtro con residuos secos (g)

W_3 = Peso del crisol vacío (g)

W_4 = Peso del crisol después de la incineración (g)



Figura 41. Fibra Cruda

2.8.6. Carbohidratos

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

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

2.9. Prueba de preferencia

En la prueba de preferencia los jueces deben de elegir entre varios productos; estas pruebas se conocen como prueba pareada que consiste en comparar entre dos o más productos codificados y los jueces tienen que elegir la que prefieren y ordenarlas de acuerdo a su preferencia de mayor a menor (González *et al.*, 2014).

La prueba se realizó con 3 diferentes formulaciones y se aplicó a 100 jueces no entrenados elegidos al azar (Figura 42), y pidiéndoles que degustaran las muestras que se les presentaron y calificaran de acuerdo a su preferencia según cada juez, el cuestionario se encuentra en el anexo 1. Al inicio de la prueba se les explicó que al término de probar una muestra debían tomar agua y comerse una galleta sin sal para neutralizar los sabores que hubieran podido dejar las muestras pasadas y no interfirieran con las muestras siguientes (Ramirez-Nava *et al.*, 2014).



Figura 42. Prueba de preferencia.

2.10. Análisis químico proximal

Se realizará un análisis químico a una muestra control que está hecha 100% de harina de trigo, así como a la formulación seleccionada en la prueba de preferencia. El análisis se elaboró con los métodos de la AOAC (2005) mencionados antes.

2.11. Calidad nutrimental

2.11.1. Cuantificación de triptófano

Fundamento: Se aplica a sistemas biológicos complejos y presentan problemas para la hidrólisis en la liberación del triptófano de los enlaces peptídicos, al realizarse la hidrólisis ácida afecta la estructura química del triptófano, por eso se emplea una hidrólisis enzimática desarrollando una coloración con DMAB (ρ -dimetilaminobenzaldehído) junto con nitrito de sodio como contrastante (Rama *et al.*, 1974).

Procedimiento: Se pesó la muestra, se le agregó la solución de pepsina con agitación continua por 3 horas, pasado el tiempo se le añade NaOH revisar el pH y la pancreatina, nuevamente se mantiene en agitación por 24 horas, después se aforó por 25ml de agua destilada y filtrar, tomar la muestra filtrada y se adiciona HCl concentrado, DMAB y Nitrito de sodio, dejando reposar 15 minutos, se ajustó el espectrofotómetro a $\lambda=590\text{nm}$.

$$X = \left(\frac{(x) (50)}{(100)} \right)$$

Donde:

X= promedio de las interpolaciones de la curva patrón

2.11.2. Digestibilidad *in vitro*

Fundamento: Se usa un sistema multienzimático para determinar la digestibilidad de proteínas, está compuesto por tripsina, peptidasa y proteasa. Se mide el pH de una proteína en suspensión, después de 20 minutos de digestión con la solución multienzimática, porque se encontró que en estas condiciones se tiene una correlación con la digestibilidad *in vivo* en ratas (Hsu *et al.*, 1977).

Procedimiento: Se pesó la cantidad de muestra equivalente a 10 mg de N₂, se utilizó una muestra control que es caseína liofilizada, se agregó agua destilada ajustando el pH a 8, usando HCl y NaOH (Figura 43), se dejó hidratar por una hora en baño María a 37°C, transcurrido la hora se le añadió la solución enzimática A, a los 10 min después se añadió la solución B y al mismo tiempo se trasfiere el vial a un baño María a 55°C, exactamente a los 19 minutos después se añadió la solución y se transfirió al baño María a 37°C, 20 minutos posteriormente se volvió adicionar la solución enzimática A y medir el pH de la muestra control y de las demás muestras. El pH de la caseína debe ser de 6.42 ± 0.05 .

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

Donde: X = Es el pH de la suspensión proteica registrado inmediatamente después de los 20 minutos de la digestión con la solución multienzimática.



Figura 43. Digestibilidad in vitro.

2.11.3. Almidón total

Fundamento: Se cuantifica la glucosa liberada por una hidrólisis enzimática de la amiloglucosidasa que hidrolizan los enlaces glucósidos α - (1-4) y α - (1-6) de las cadenas de amilosa y amilopectina (Goñi *et al.* 1996).

Procedimiento: Se pesó la muestra y dispersó en KOH durante 30 min con agitación constante, añadiendo 3 ml de acetato de sodio ajustando el pH a 4.75 e inmediatamente adicionar 80 μ L de enzima amiloglucosidasa y se colocó en un baño María por 45 minutos provocando que el almidón solubilizado gelatinice, transcurrido el tiempo se dejó reposar y centrifugar a 5000 RPM, se midió la cantidad del sobrenadante usando glucosa oxidasa/peroxidasa, se colocó un 1 ml de reactivo de glucosa con 10 μ L del sobrenadante y se dejó reposar por 20 minutos, leer con espectrofotómetro a $\lambda = 505$ nm. (Se realiza un blanco con solo reactivo de glucosa).

$$X = \frac{Ab_{\text{Total}} - 0.058}{0.0422}$$

$$X_1 = \frac{X - 100\mu L}{10\mu L}$$

$$X_2 = \frac{X_1 - S}{1ml} +$$

$$\%X_3 = \frac{X_2}{10^6}$$

Donde:

Ab_{Total} = Lectura de la muestra- lectura del blanco

X = Almidón total (mg)

X_1, X_2 = Regla de 3 para cambiar unidades

X_3 = Porcentaje de almidón total

2.11.4. Relación de eficiencia proteica

Técnica 960.48 (Protein Efficiency Ratio)

Fundamento: Esta prueba conocida por sus siglas en inglés PER (Protein Efficiency Ratio), es un método estandarizado que se realiza empleando una dieta de estudio y una dieta de caseína como referencia, ambas con un 10% de proteína. Fue el primer método adoptado como rutina de evaluación de la calidad proteica de los alimentos. Representa el cociente de los gramos de peso ganado por los animales de estudio entre los gramos de proteína ingerida (Ortíz, 2018). Se realizó con el objetivo de evaluar la calidad proteica del baguette seleccionado.

Procedimiento: Se elaboró una dieta isoproteica e isocalórica con el baguette seleccionado y otra dieta con la muestra control para realizar una comparación entre ambas formulaciones además de la dieta de caseína como referencia. Se utilizaron 18 ratas Wistar (Figura 44), divididas en 3 lotes de 6 ratas cada uno, ordenadas en forma de culebra japonesa que consiste en distribuir los pesos con orden ascendente organizando los lotes de izquierda a derecha y regresa de derecha a izquierda para una distribución homogénea. El ensayo tuvo una duración de 28 días, donde cada tercer día se registró el peso ganado y la cantidad de alimento consumido por cada uno de los individuos. Al finalizar se procedió a realizar los siguientes cálculos:



Figura 44. Material biológico de estudio PER

$$PER_{exp} = \left(\frac{\Delta P}{(\sum AI * F)} \right)$$

$$PER \text{ ajustado} = [PER \text{ exp} * \left(\frac{PER \text{ caseína ref}}{PER \text{ caseína exp}} \right)]$$

Donde:

ΔP = Incremento de peso (g)

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

F = % de proteína en la dieta/100

PER exp = Valor de PER obtenido en el bioensayo

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

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

2.11.5. Digestibilidad *in vivo*

Fundamento: La digestibilidad *in vivo* o aparente se define como la fracción de un determinado alimento que es absorbido durante su paso a través del conducto gastrointestinal y que es aprovechado por el organismo. En el caso de las proteínas, se refiere a la cantidad de nitrógeno que es absorbido por el animal.

Procedimiento: Se determinó mediante la cuantificación de nitrógeno ingerido y el de las heces secas y molidas, con el método de Micro Kjeldahl, de cada rata en la última semana del ensayo (A. O. A. C., 2005).

$$Da = \left[\left(\frac{N \text{ absorbido}}{N \text{ ingerido}} \right) * 100 \right]$$

2.12. Calidad funcional

2.12.1. Fibra dietética

Fundamento: Emplea un método enzimático-gravimétrico para determinar la fibra dietética total contenida en los alimentos. La muestra seca y desengrasada se gelatiniza con la enzima termoestable α -amilasa, posteriormente se lleva a cabo una digestión empleando proteasa y amiloglucosidasa para la remoción de proteínas y almidón. Se usa etanol para precipitar la fibra dietaría soluble, después, este residuo se lava con etanol y acetona. Uno de los duplicados se analiza para proteína y el otro es incinerado a 530 °C. El contenido total de fibra dietética se obtiene como resultado del peso de residuo menos el peso de la proteína, cenizas y blanco (CUNNIF, 1995).

Procedimiento: Se adicionó buffer de fosfato (0.08 M, pH = 6) a 1 g de muestra, posteriormente se añadió la solución de amilasa. Después de estar en un baño a ebullición, la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente y se ajustó el pH a 7.5 adicionando NaOH. Se disolvieron 50 mg de proteasa en 1 ml de buffer fosfato y se agregó 0.1 ml a cada matraz, estos se colocaron dentro de un baño a 60 °C para luego enfriarse a temperatura ambiente. Se añadió HCl (10 ml, 0.325 N) y se ajustó el pH entre 4.0 – 4.6. Se adicionó 0.1 ml de amiglucosidasa y después de un tiempo de incubación de 30 min a 60 °C con agitación, se agregó etanol (95%). El precipitado se vació cuantitativamente en un embudo con papel filtro a peso constante y conectado a vacío como se muestra en la figura 45. El residuo se lavó con etanol (95%), luego con acetona, se dejó secar durante la noche a 70 °C y se llevó a peso constante. De uno de los duplicados se determinó proteínas y cenizas del otro. Para finalizar, se corrigió el residuo restándole las cenizas y proteína correspondiente.

$$\% \text{ Fibra dietética} = \left(\frac{R - P - C - B}{PM} \right) * 100$$

Donde:

R = Pero del residuo de la muestra (mg)

P = Peso de proteína de la muestra (mg)

C = Peso de cenizas de la muestra (mg)

B = Blanco

PM = Peso de la muestra



Figura 45. Fibra dietética.

2.12.2. Capacidad antioxidante

Fundamento: La determinación de la capacidad antioxidante se basa en la estabilización del radical DPPH siendo un radical orgánico, la reacción de estabilización se considera que sucede principalmente mediante un mecanismo de transferencia de electrones, con un aporte marginal de transferencia de átomos de hidrogeno; esta prueba se realiza en un espectrofotómetro a una absorbancia de 580 nm (Londoño Londoño, 2012)

Procedimiento: Se pesó la muestra libre de grasa, se diluyó en 1 ml de metanol-HCl y se colocó en baño María, se dejó enfriar para después centrifugarlo a 9000 RPM (Figura 46). Para determinar el poder antioxidante: se obtuvo el extracto y se añadió el DPPH, dejando reposar 30 min en la oscuridad absoluta, calibrar el espectrofotómetro con agua en una absorbancia de 518 nm y después se calibra con metanol, en seguida se leyó con metanol más DPPH de cada muestra y se dejó reposar 30 minutos, como control negativo y se obtuvo la lectura.

$$\% \text{Capacidad antioxidante} = \left(\frac{\text{Abs control negativo} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs control negativo}} \right)$$

Donde:

Abs control negativo= Valor de absorbancia (Metanol + DPPH)

Abs muestra= Valor de absorbancia de la muestra



Figura 46. Determinación de capacidad antioxidante.

2.12.3. Compuestos fenólicos

Fundamento: Se basa en la reacción de los compuestos fenólicos con el reactivo de Folin-Ciocalteu en un medio básico, provocando una coloración azul susceptible a la determinación con espectrofotómetro a 765 nm. El reactivo contiene wolframato sódico con molibdato sódico en ácido fosfórico que reacciona con los compuestos fenólicos presentes en las muestras. El ácido fosfomolibdotúgstico es formado por dos sales en un medio ácido, dando un color amarillo que al ser reducido por grupos fenólicos presentan una coloración azul intenso, cuya intensidad es la que se mide para evaluar el contenido polifenoles (Moctezuma et al. 1990; Prasad and Weigle 1975; Ranganna 1977).

Procedimiento: La muestra desengrasada se diluyó con 1 mL de metanol-HCl, se colocó en un baño María por 10 minutos en tubos eppendorf con rosca para evitar que se abran, se dejaron enfriar para posteriormente centrifugarlos a 9000 rpm, se obtuvo el sobrenadante y se vertieron en tubos eppendorf de punta y se colocaron a 65°C en un bloque de calentamiento hasta su total evaporación, al término de la evaporación se obtuvo una pastilla que se disolvió en 1ml de agua destilada y se agitó, se volvió a centrifugar durante 10 minutos al terminar la centrifugación se extrajo el extracto. De este se tomó 400µL para la determinación de polifenoles, se agregó 3750µL de agua destilada y 250µL de reactivo Folin-Ciocalteu dejando reposar por 5 minutos, después se adicioneo 500µL de Na₂CO₃ agitándolo y reposando por 15 minutos, se leyó en el espectrofotómetro con una absorbancia de 760nm y se realizaron los siguientes cálculos.

$$x = \left(\frac{a - b}{m} \right)$$

$$\text{Fenoles} = \left[\frac{x_2 * (6\text{eq AG})}{\text{PM}} \right] * 10 = \frac{\text{meq AG}}{\text{g mtra}}$$

Donde:

a = absorbancia

b = ordenada al origen

X = Fenoles en 400 μ L

X₂ = Fenoles en 1g de muestra

PM = Peso molecular de ácido gálico (170.2 μ g)

2.12.4. Almidón resistente

Fundamento: Es la digestión enzimática en donde se cortan las cadenas de almidón unidas a proteínas, en seguida se realiza un lavado con agua para eliminar la glucosa soluble realizando otra digestión para liberar los monómeros de glucosa, que son cuantificados por espectrofotometría (Goñi *et al.*, 1996).

Procedimiento: Se pesó la muestra desengrasada, se colocó en un tubo de centrifuga de 50 ml y se le agregó buffer KCl-HCl a un pH 1.5, se adicionó 0.2 ml de solución pepsina y se mantuvo en agitación constante por 1 hora a 40°C (Figura 47), se dejó enfriar a temperatura ambiente y se ajustó el pH con una solución buffer de Tris-maleato, posteriormente se le agregó 1ml de α -amilasa y se mezcló, se incubó durante 16 horas en baño María a 37°C con agitación constante, después se centrifugó por 15 minutos a 5000RPM desechando el sobrenadante, se enjuagó al menos una vez con agua destilada, se centrifugó y nuevamente se desechó el sobrante, se añadieron 3ml de KOH y se mantuvo en agitación constante por 30 minutos, nuevamente se ajusta el pH con acetato de sodio-ácido acético, se adicionó 80 μ L de amilogucosidasa mezclando y dejándolo 45 minutos a una temperatura de 60°C con agitación continua para después centrifugar por 10 minutos a una velocidad de 5000 rpm recolectando el sobrenadante y medir el volumen.

Se realizó una curva estándar de solución de glucosa, en un 1 ml de muestra se colocó 1 ml de agua destilada y 1 ml de los estándares y se ubicaron en diferentes tubos de ensayo, en cada tubo se adicionó 2 ml del reactivo de glucosa para después mezclarlo y dejarlo reposar por 30 minutos en baño María a 37 °C, se leyó la absorbancia de los estándares y las muestras a 505 nm.

$$X = \frac{Abs_{total} - 0.058}{0.0422}$$

$$\%X_3 = \frac{X_2}{10^6}$$

Donde:

Ab_{Total} = Lectura de la muestra- lectura del blanco

X = Almidón total (mg)

X_2 = Conversiones para pasar mg a g

X_3 = Por ciento de almidón total



Figura 47. Almidón resistente.

2.13. Factores anti nutrimentales

2.13.1. Taninos

Fundamento: Se basa en la extracción de los taninos hidrolizables y condensados (fenoles totales) mediante la adición de dimetilformamida (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).

Procedimiento: Se mezcló dimetilformamida al 75% con 1 g de muestra, esto se agitó durante una hora y posteriormente se dejó reposar durante 15 minutos. Transcurrido el tiempo, se centrifugó a 5000 rpm durante 20 minutos, se tomó 1 ml del sobredrenante al cual se ajustó el volumen a 6 ml con agua destilada, 1 ml de citrato férrico (17-20%), 1 ml de amonio (Figura 48). Para finalizar, se leyó la absorbancia a 525 nm y se realizaron los cálculos correspondientes.

$$\% \text{ Taninos} = \left(\frac{X}{PM} \right) * 100$$

Donde:

X = g de ácido tánico

PM = Peso de la muestra



Figura 48. Taninos

2.13.2. Ácido Fítico

Fundamento: este método se procede primero en la determinación de contenido de hierro, esto se hace mediante el incremento de temperatura de la muestra con una solución de ácido férrico. La disminución del hierro (determinada colorimétricamente con 2,2-bipiridina) en el sobredrenante es la medida del contenido de ácido Fítico (Haug *et al.*, 1983).

Procedimiento: Se adicionó HCl (0.2 N) a 0.1 g de muestra y se agitó durante 20 minutos. Posteriormente se centrifugó por 15 minutos, del sobredrenante se tomaron 0.5 ml que fueron puestos en un tubo de ensaye y se añadió sulfato férrico (0.2%). Se tapó el tubo y se calentó hasta $95 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, se mantuvo 30 minutos y después se dejó enfriar hasta temperatura ambiente, para finalmente adicionar 2 ml de 2,2-Bipiridina y agitar (Figura 49). La absorbancia se leyó exactamente 30 segundos después de añadir la 2,2-Bipiridina, a 519 nm. Para realizar los cálculos correspondientes primero fue necesario graficar μg de ácido fítico/ml vs absorbancia, realizar la regresión lineal, obtener la ecuación de la recta ($y = mx + b$) y sustituir en la siguiente ecuación:

$$P = \left[\frac{x * E}{T} \right]$$

Donde:

x = valor obtenido de la ecuación despejada

E = Equivalente a 660.08 g (1 mol de ác. Fítico)

T = Equivalente a 185.82 g (6 moles de fosfato)

P = μ g de fosfato de ácido fítico/ml

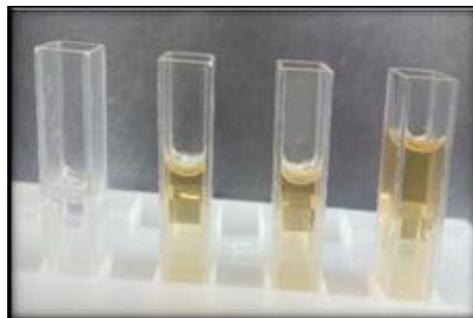


Figura 49. Ácido fítico

Posteriormente se procedió a realizar el cálculo para determinar el porcentaje de ácido fítico contenido en la muestra.

$$\% \text{ Ácido fítico} = \left(\frac{P}{M} \right) * 100$$

Donde:

P = μ g de fosfato del ácido fítico/ml

M = Muestra g/20 ml HCl

2.13.3. Inhibidores de tripsina

Fundamento: Este método se basa en la determinación de actividad proteolítica remanente, del extracto acuoso o diluido de la muestra con solución estándar de tripsina. Para llevar a cabo esta determinación se emplea un sustrato sintético (benzoil-arginina-p-nitroanilida; BAPNA), el cual produce coloración inversamente proporcional al contenido de inhibidores de tripsina y que se lee en el espectrofotómetro a $\lambda = 410$ nm (Kakade *et al.*, 1974).

Procedimiento: A 1 g de muestra, previamente molida y desengrasada, se añadió NaOH (0.01 N), se ajustó el pH a 9.6, se mantuvo en agitación durante 2 horas 30 minutos y al finalizar se dejó en reposo 30 minutos. Posteriormente, se centrifugó a 5000 rpm por 5 minutos. Del sobredrenante, se tomaron porciones de 0, 0.6, 1, 1.4, y 1.8, los cuales se colocaron en tubos de ensaye y se ajustó a un volumen de 2 ml usando agua destilada. Se agregaron 2 ml de solución estándar de tripsina y se agitó, después, se mantuvo en contacto inhibidor tripsina-tripsina por 10 minutos en un baño a 37 °C. Se adicionaron 5 ml de solución BAPNA cada 30 segundos a los 5 tubos, y se mantuvo dicha mezcla de reacción durante 10 minutos exactamente. Transcurrido este tiempo, se añadió 1 ml de ácido acético al 30% (Figura 50), para detener la reacción asegurándose de que con la adicción del ácido acético el contenido del tubo no tuviera apariencia turbia, de no ser así, habría sido necesario realizar un filtrado después de 5 minutos de reposo de la muestra.

Finalmente, se realiza la lectura con el espectrofotómetro a $\lambda = 410 \text{ nm}$ y se hacen los cálculos pertinentes, para esto es necesario graficar los ml de extracto vs UTI/ml para realizar la regresión lineal; si la r es mayor a 0.9 se sustituye el valor de la ordenada al origen en la siguiente ecuación:

$$(B) * (\text{Factor}) * \left(\frac{\text{Vol. aforado muestra}}{\text{mg de muestra}} \right) * \left(\frac{\text{UTI}}{\text{mg de muestra}} \right)$$

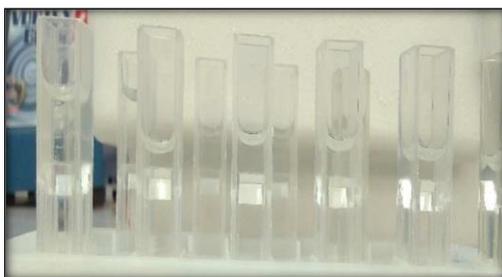


Figura 50. Inhibidores de tripsina.

2.14. Prueba de nivel de agrado

La prueba del consumidor mide la preferencia de ciertos productos, buscando la aceptabilidad de los mismos en el mercado. La aceptabilidad se define como “consumo con placer” (González, Rodeiro, and Vila, 2014). A los panelistas se solicita indicar cuanto les agrada o disgusta la muestra asignada un valor según la categoría reportada en la escala (Ramirez-Nava, Murcia, and Castro, 2014)

Esta prueba se realizó en la formulación seleccionada en la prueba de preferencia, se hizo a 100 jueces no entrenados, en el cuestionario debes asignarle una calificación al producto, dicha prueba se encuentra en el Anexo 2.

2.15. Análisis estadístico

Todas las pruebas se realizaron por triplicado calculando el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para el análisis de los promedios se realizaron una prueba de rango multiple t-student a nivel de significancia de $p \leq 0.05$ usando un programa estadístico.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Pruebas físicas de la cerveza

Una vez elaborada la cerveza artesanal tipo Weizen con amaranto, se procedió a realizarle pruebas físicas, cuyos resultados se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Pruebas físicas de la cerveza artesanal tipo Weizen con amaranto.

Muestras	°Brix	% Volumen Alcohol	Densidad
Cerveza con amaranto	7.3±6.65	4.00±2.64	1.24±0.25

Los resultados obtenidos para °Brix de la cerveza nos indican la cantidad de sólidos solubles presentes en la bebida. Montoya-Hernández (2015), informa que las cervezas deben tener un máximo de 7.5 °Brix para considerarse aceptables, y se puede observar que el valor de esta cerveza cumple con dicho parámetro.

Mientras tanto, la NOM-199- SCFI-2017, declara que las bebidas alcohólicas como la cerveza deben tener un contenido alcohólico entre 2 y 20%, siendo así, la cerveza tipo weizen elaborada cumple con estas condiciones al tener un porcentaje de 4% de alcohol, esto se debe a la transformación química de azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono. Los azúcares que se degradan durante la fermentación son la glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa y maltotriosa, influyendo directamente en la producción de alcohol etílico.

Por otra parte, la densidad de la cerveza está relacionada con el grado de alcohol que esta contiene porque durante la fermentación la levadura consume los azúcares para transformarlos. La densidad de las cervezas estilo weizen oscila entre 1.010 y 1.014, según Cerveza Artesanal, (2014), sin embargo, la densidad que se obtuvo en la cerveza elaborada con amaranto resultó ser mayor a estos valores, lo cual se puede asociar al tiempo prolongado de maduración en la que se llevó a cabo (Huxley 2011).

3.2. Análisis de las materias primas

3.2.1. Análisis químico proximal de las harinas

Previo a la elaboración del baguette, se procedió a analizar las materias primas que se emplearían en el proceso. Se realizó análisis químico proximal de las harinas que se utilizaron para la elaboración del producto, las cuales fueron harina integral de amaranto obtenida en el laboratorio y harina de trigo comercial marca Tres estrellas ®, los resultados se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Análisis químico proximal de la materia prima harinas de amaranto y trigo.

Muestra (Harinas)	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	CHO'S (%)
Trigo	9.45 ± 0.47 ^a	9.05 ± 0.41 ^a	1.69 ± 0.56 ^a	0.75 ± 0.07 ^a	0.93 ± 0.15 ^a	78.13 ^a
Amaranto	10.94 ± 0.24 ^b	13.84 ± 0.09 ^b	6.31 ± 0.06 ^b	2.58 ± 0.07 ^b	6.6 ± 0.42 ^b	59.73 ^b

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

Los resultados que se obtuvieron muestran que la harina de trigo con respecto a la harina de amaranto presenta valores con diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre todos los compuestos evaluados. La harina de amaranto presenta una mayor calidad nutrimental, esto se debe principalmente por el alto porcentaje de proteína, que es considerada proteína de alto valor biológico por su contenido de ácidos esenciales, entre ellos la lisina, que comúnmente se encuentra muy limitado en otros cereales. La FAO y la OMS mencionan que el valor proteico del amaranto supera al del trigo y a su vez a la de leche vacuna (Asociación Mexicana de Amanto 2003).

Por otra parte, la grasa contenida en ambas muestras presenta diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), siendo 3.73 veces mayor en la harina de amaranto respecto a la harina de trigo. La grasa que contiene la harina de amaranto es considerada una fuente rica en escualeno, el aceite del amaranto tiene ácidos grasos insaturados, como lo son: linoleico (omega 6), oleico (omega 9), (Rayas-Duarte et al., 1996; Rodas & Bressani, 2009), al consumir estos ácidos grasos ayuda a regular los niveles de triglicéridos en la sangre.

El porcentaje de cenizas incrementó aproximadamente tres veces más en la harina de amaranto respecto a la harina de trigo, estos valores son similares a los determinados por Rayas-Duarte (1996) para ambas harinas. El aumento de cenizas se debe a que el amaranto contiene una gran cantidad de minerales como calcio, fósforo, magnesio y hierro (Montero-Quintero *et al.*, 2015).

Referente al contenido de fibra en las muestras, la harina de amaranto presenta un aumento significativo, y al tener un alto contenido de fibra proporciona una sensación de saciedad prolongada, al sentir esa sensación evita el consumo excesivo de otros alimentos previendo enfermedades crónicas como es la diabetes, obesidad y enfermedades cardiovasculares que son provocadas por una mala alimentación (Asociación Mexicana de Amaranto, 2003; Montero-Quintero *et al.*, 2015).

Con base en estos resultados, se comprueba que la harina de trigo presenta una menor calidad nutrimental que la harina de amaranto, ya que la primera presenta una gran cantidad de carbohidratos y un mínimo de otros componentes (proteína, grasa, fibra y cenizas), esto se debe a que, al someter al grano de trigo a un proceso de molienda sus partes anatómicas son separadas (germen y pericarpio), para obtener solo el endospermo donde se encuentra la mayor parte de carbohidratos (Bracho, 2019; Mapes, 2015).

3.2.2. Calidad nutrimental de las harinas

En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos para los parámetros nutrimentales evaluados en harina de trigo y harina de amaranto. Estos fueron digestibilidad *in vitro*, contenido de triptófano y almidón total, los cuales se determinaron con el fin de comparar la calidad nutrimental de ambas harinas y concluir si pueden complementarse entre sí en la elaboración de un producto de panificación dando como resultado un alimento con mejor calidad. Para cada uno de los parámetros se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre ambas harinas. Los valores tanto de digestibilidad *in vitro*, como de contenido de triptófano, fueron mayores para la harina integral de amaranto, mientras que lo referente al contenido de almidón resultó ser superior en la harina de trigo.

Tabla 12. Parámetros de calidad nutrimental en harina de trigo Tres estrellas® y harina integral de amaranto.

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Triptófano (g Trp/100g proteína)	Almidón total (%)
Harina de trigo	79.09 ± 0.34 ^a	1.05 ± 0.006 ^a	76.41 ± 1.27 ^a
Harina de amaranto	85.18 ± 1.30 ^b	1.65 ± 0.08 ^b	51.01 ± 7.82 ^b

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

En cuanto a la digestibilidad *in vitro*, los resultados reflejan que las proteínas incluidas en la harina de amaranto se digieren con mayor facilidad en el organismo en comparación con las contenidas en la harina de trigo. Un estudio realizado por la FAO compara la digestibilidad de distintos alimentos clasificándolos en tres grupos, donde una digestibilidad menor al 85% se considera baja, por lo tanto, se tiene que el nivel de digestibilidad de la harina de trigo se encuentra en un nivel bajo, mientras que por su parte la harina integral de amaranto entra en un nivel de digestibilidad media (Mujica *et al.*, 2001).

En cuanto al contenido de triptófano, los resultados superiores en la harina de amaranto se atribuyen a las características que presentan ambos granos enteros, pues existen investigaciones que respaldan, que el grano entero de trigo tiene un contenido considerable de triptófano, sin embargo, el valor que presenta el amaranto es mayor, no sólo con respecto al trigo sino también en comparación con otros cereales como el arroz y el centeno. Este aminoácido esencial es el regulador de varios procesos que se llevan a cabo en el organismo, uno de ellos es la síntesis de serotonina y melatonina, que tienen funciones de transmisión del impulso nervioso y regulación del sueño respectivamente (Matito, 2015).

Por su parte, la harina obtenida del grano de trigo exhibió un contenido de almidón total mayor que la de amaranto, esto debido a que, como ya se mencionó, en el proceso de extracción de harina de trigo, el grano pasa por trabajo mecánico en el que se remueven algunas de sus partes

estructurales, dejando solamente el endospermo, que es la parte que contiene un valor elevado de almidón. El almidón es el polisacárido más abundante e importante en los cereales, este se presenta en forma de gránulos cuyo tamaño está directamente relacionado con su digestibilidad, pues a menor tamaño de gránulo, la digestión será más rápida, este es el caso de los gránulos de amaranto pues su tamaño es muy pequeño lo que conlleva una mejor digestibilidad. Así mismo el valor de almidón total es el resultado de la suma de almidón resistente y almidón digerible, el primero tiene como característica que resiste la hidrólisis enzimática en el tracto digestivo y desempeña una función similar a la fibra dietética, en cambio, el almidón digerible es aquel que se hidroliza, descomponiéndose en polisacáridos más simples que son absorbidos por el organismo, teniendo un impacto directo en el índice glucémico (Mapes, 2015).

De acuerdo a estos resultados, se considera a la harina de amaranto una opción viable para complementar a la harina de trigo para usarse en procesos de panificación y mejorar la calidad nutrimental de los productos finales.

3.2.3. Evaluación de compuestos funcionales en las harinas

Como se observa en la tabla 13, cada uno de los parámetros presentó una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre ambas harinas, donde, exceptuando el contenido de almidón, todos los valores fueron superiores en la harina integral de amaranto.

Tabla 13. Resultados de los parámetros funcionales determinados en harina de trigo Tres estrellas® y harina integral de amaranto.

Muestra	Fenoles (mgEAG/g mtra)	Capacidad antioxidante (%)	Almidón digerible (%)	Almidón resistente (%)	Fibra dietética (%)
Harina de trigo	0.31 ± 0.005 ^a	7.03 ± 0.2 ^a	59.3 ^a	17.11 ± 0.14 ^a	2.03±0.21 ^a
Harina de amaranto	13.07 ± 0.04 ^b	61.84 ± 0.07 ^b	39.61 ^b	11.4 ± 1.47 ^b	14.03±0.37 ^b

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

El resultado de la determinación de fenoles en la harina de amaranto fue 42 veces mayor que en la harina de trigo, esto se debe al alto contenido de ácido cafeico y felúrico presentes en el grano de amaranto. Ambos compuestos fenólicos se asocian estrechamente con la inhibición de radicales libres y atrapar iones metales que intervienen en su producción, esto gracias a su capacidad antioxidante, la cual también previene la oxidación de moléculas como proteínas y lípidos (Tamsen *et al.*, 2018), esto eleva la posibilidad de que al emplear esta harina de amaranto se aumente la vida útil y reducir la oxidación del producto final.

La capacidad antioxidante de la harina de amaranto fue 8 veces mayor que la de harina de trigo, esto puede deberse al superior contenido de compuestos fenólicos presentes en el grano de amaranto. Además de los compuestos fenólicos antes mencionados, se ha demostrado que en el grano de amaranto el principal componente responsable de su capacidad antioxidante es el flavonoide polifenólico Rutina, al cual también se le atribuyen capacidades antimicrobianas y fungicidas (Algara *et al.*, 2016).

Los resultados de la determinación del contenido de almidón, tanto digerible como resistente, fueron mayores 1.5 veces en la harina refinada de trigo con respecto a la de amaranto. La suma de ambos tipos de este polisacárido da como resultado el contenido de almidón total, el cual es el compuesto más abundante en el trigo, sin embargo niveles altos de almidón digerible se relacionan estrechamente con el índice de glucosa en la sangre debido a su fácil absorción, por lo tanto, resulta favorables niveles más bajos de este polisacárido como sucede en la harina de amaranto (Montero-Quintero, Moreno-Rojas, et al., 2015).

En lo referente al contenido de fibra dietética la harina de amaranto resultó ser casi 7 veces superior al obtenido para la harina de trigo. Este compuesto abundante en el grano de amaranto se encuentra en mayor proporción de forma insoluble con alrededor del 40 % del peso total (Marcin *et al.*, 2018). Beneficia la salud humana al mejorar el volumen fecal, estimular el tracto gástrico y reducir los niveles de glucosa y colesterol en la sangre, funciones similares a las de almidón resistente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los parámetros medidos reflejaron ser mejores para la harina integral de amaranto respecto a la harina refinada de trigo, se espera que la adición de esta harina junto con el bagazo de cerveza, mejore las características funcionales del baguette elaborado.

3.2.4. Análisis químico proximal de malta y bagazo de cerveza

Las determinaciones realizadas a la materia prima de la cerveza y al subproducto (bagazo) tuvieron como objetivo conocer su composición química y establecer si dichos compuestos podrían tener un efecto positivo tanto en las características como en las propiedades del producto final, al añadirse a las formulaciones de baguette. Los resultados de estas pruebas se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. Resultados del análisis químico proximal de malta y bagazo de la cerveza tipo Weizen con amaranto.

Muestra	medad(%)	oteínas(%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	HO's(%)
Malta	7.06 ± 0.07 ^a	9.73 ± 0.00 ^a	3.08 ± 0.01 ^a	2.08 ± 0.02 ^a	8.45 ± 0.13 ^a	69.60 ^a
Bagazo	5.71 ± 0.09 ^a	13.86 ± 0.19 ^b	3.69 ± 0.13 ^a	3.03 ± 0.03 ^a	20.48 ± 0.14 ^b	53.23 ^b

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

Los componentes que destacan en estos dos ingredientes, son las proteínas, fibra y carbohidratos, los cuales, presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre sí. El bagazo es resultante del proceso de maceración, por lo que incluye parte de los granos de amaranto y malta, la malta a su vez se obtiene de un tratamiento que se le da a la cebada, ambos granos le proporcionan al bagazo gran cantidad de proteínas, de las cuales las principales son hordeínas o prolaminas, ya que estas son las más representativas en la cebada, también se incluyen globulinas, albúminas y glutelinas. Además, se ha demostrado que el bagazo es buena fuente de aminoácidos esenciales como metionina, fenilalanina, triptófano, histidina, y aminoácidos no esenciales como serina, alanina, glicina y prolina (Mussatto, Dragone, & Roberto, 2006).

En cuanto al contenido de fibra, el incremento en más del 50% con respecto a la malta, se explica con la incorporación del grano de amaranto y que, durante el proceso de maceración y filtrado, el bagazo resulta con gran parte de la cáscara de los granos, que corresponde al pericarpio y capas de las semillas que representan buena fuente de celulosa, hemicelulosa y lignina

principalmente (Ikram *et al.*, 2017). Finalmente, la reducción en el contenido de carbohidratos, se debe a los efectos que tiene la temperatura en el proceso de maceración, donde, el almidón, mediante hidrólisis enzimática, se transforma en azúcares fermentables que son los responsables de la producción de alcohol en la elaboración de cerveza (Mussatto *et al.*, 2006).

Por su parte, el contenido de humedad, grasa y cenizas, no presentó diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre ambas muestras.

3.2.5. Calidad nutrimental y funcional de malta y bagazo de cerveza

Tabla 15. Resultados de parámetros de calidad nutrimental en malta y bagazo de cerveza

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Triptófano (g Try/100g proteína)	Almidón digerible (%)	Almidón total (%)
Malta	86.60 ± 3.47 ^a	0.94 ± 0.03 ^a	49.9 ^a	53.78 ± 2.49 ^a
Bagazo de cerveza	92.71 ± 0.005 ^b	1.12 ± 0.03 ^b	38.12 ^a	41.94 ± 0.34 ^b

*Letra diferentes en la misma columna indica diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Para la prueba de digestibilidad *in vitro*, los resultados (tabla 15) presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). Se obtuvo un incremento del 1.07 en el grano cervecero gastado comparado con la digestibilidad de la malta, esto debido a que el bagazo contiene amaranto por lo que mejoró tanto la digestibilidad como la disponibilidad de sus aminoácidos esenciales, y por lo tanto, también los niveles de triptófano presentes en ambas muestras exhiben una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), este aumento es provocado por la adición de amaranto ya que este pseudocereal contiene triptófano y estudios realizados anteriormente, confirman mediante un perfil de aminoácidos que este aminoácido también está presente en el bagazo (Kumari *et al.*, 2019), mientras tanto, la malta contiene bajos valores de este aminoácido esencial.

Los valores de almidón digerible de la malta y del bagazo no presentan una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), el almidón digerible es una fracción del almidón que es hidrolizado por acción enzimática y absorbido por el organismo (Roman, Gomez, Li, Hamaker, & Martinez, 2017). Por otra parte, el almidón total de la malta sí presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto al bagazo, esto debido a que en el grano gastado los gránulos presentes de este polisacárido han sufrido acción térmica y transformación por enzimas lo que permite su reducción.

Tabla 16. Resultados de la evaluación funcional de la malta y bagazo.

Muestra	Contenido de fenoles (mgEAG/g mtra)	Capacidad antioxidante (%)	Fibra dietética (%)	Almidón resistente (%)
Malta	1.24±0.01 ^a	85.76 ±0.49 ^a	21.70 ±0.95 ^a	3.88±0.12 ^a
Bagazo de cerveza	0.74±0.02 ^b	81.98±0.18 ^a	38.55±1.50 ^b	3.82 ±0.02 ^a

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

En diversos estudios se ha demostrado que la cebada y la malta contienen altos niveles de compuestos fenólicos los cuales se encuentran mayormente en la cascara del grano. El contenido de fenoles de la malta presenta una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con respecto al bagazo, esta disminución se debe a que durante el proceso de obtención del mosto estos compuestos son degradados por el tratamiento térmico que ocurre durante la maceración, disminuyendo el contenido de compuestos fenólicos del bagazo. Los principales compuestos fenólicos que constituyen la cebada y la malta son los flavonoles, flavonas, flavanonas, taninos, proantocianinas y compuestos aminofenólicos, mientras en el bagazo son ácido ferulico y p-cumaricos los cuales también actúan como antioxidantes (Fărcaș *et al.*, 2015; Ikram *et al.*, 2017; Kitryte *et al.*, 2015).

El contenido de antioxidantes de la malta se ve influenciado por el tipo de malta utilizado. En este caso fue una malta de bajo color (malta pálida) que tiene altos niveles de polifenoles y reductonas, mientras que el bagazo contiene una menor cantidad de estos compuestos. Sin embargo, ambas materias primas no muestran diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en los resultados de capacidad antioxidante, ya que también se utilizó amaranto para elaborar la cerveza y al contener alta cantidad de antioxidantes favorece al contenido final de estos compuestos en el bagazo y, por ende, influye directamente en los resultados obtenidos (Moreira *et al.*, 2013; Samaras *et al.*, 2005).

La fibra dietética de la malta presenta diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) con respecto al bagazo, debido a que el grano gastado tiene altos niveles de fibra dietética que está constituida por polisacáridos (arabinosilanos y β -glucanos) y lignina, estos componentes son resistentes a la hidrólisis por las enzimas del tracto digestivo. Los resultados de la fibra dietética del bagazo con amaranto muestran un valor similar al reportado por Arcia (Arcia *et al.*, 2018; Coelho *et al.*, 2014; Stojceska, 2011), mientras tanto, la fibra dietética está relacionado con el almidón resistente que no muestra una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre ambas muestras, esto se debe a que la cebada y amaranto contienen bajos niveles de este almidón en sus composiciones químicas.

Conociendo la información anterior se demuestra que el bagazo se puede adicionar a un alimento mejorando su calidad nutrimental y funcional a un bajo costo.

3.3. Pruebas físicas del pan

Se desarrolló una muestra control de baguette siguiendo el método de panificación directa donde se empleó exclusivamente harina refinada de trigo y los ingredientes cuyas proporciones se enuncian en la tabla 17, a esta muestra corresponde la nomenclatura 1000. Posterior a esto, se propusieron tres formulaciones donde se sustituyera parcialmente la harina de trigo añadiendo en su lugar harina integral de amaranto en distintas concentraciones, además, se agregó gluten en una proporción del 10% con respecto al contenido total de harina. Al resto de los ingredientes presentes en la formulación control se adicionó también bagazo de cerveza, cerveza artesanal tipo weizen y aceite como se indica en la tabla 17.

Tabla 17. Formulaciones propuestas para elaboración del baguette.

Formulaciones	4050	5535	7020
<i>Ingredientes</i>	40% H.T.*	55% H.T.	70% H.T.
	50% H.A.	35% H.A.	20% H.A.
	10% gluten	10% gluten	10% gluten
<i>Harina de trigo</i>	19.2	26.5	33.7
<i>Harina de amaranto</i>	24.1	16.8	9.6
<i>Gluten</i>	4.8	4.8	4.8
<i>Bagazo de cerveza</i>	19.3	19.3	19.3
<i>Cerveza tipo weizen</i>	12.8	12.8	12.8
<i>Agua</i>	12.0	12.0	12.0
<i>Aceite vegetal</i>	7.2	7.2	7.2
<i>Sal</i>	0.4	0.4	0.4
<i>Levadura</i>	0.2	0.2	0.2

*H. T: Harina de trigo; H.A: Harina de amaranto.

Una vez obtenidos los baguettes propios de cada formulación, se procedió a medir distintos parámetros físicos, que sirvieran como referencia de los cambios ocurridos durante el proceso permitiendo determinar si la adición tanto de la harina de amaranto y bagazo como del resto de los ingredientes tiene un efecto significativo en las propiedades físicas del pan, los resultados correspondientes a estos parámetros se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados de los parámetros físicos evaluados en los baguettes elaborados con diferentes formulaciones.

<i>Muestra</i>	Altura (cm)	Ancho (cm)	Relación de forma (cm/cm)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Volumen específico (cm ³ /g)
1000	3.06 ^a ± 0.83	4.58 ^a ± 0.68	1.50 ^a	169 ^a	360 ^a	2.13 ^a
4050	2.77 ^a ± 0.74	5.76 ^b ± 1.14	2.08 ^b	172 ^a	340 ^a	1.97 ^a
5535	2.91 ^a ± 0.92	6.04 ^c ± 1.41	2.08 ^b	182 ^a	370 ^a	2.03 ^a
7020	3.16 ^a ± 1.21	6.09 ^c ± 1.82	1.93 ^c	180 ^a	430 ^b	2.38 ^a

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

Como puede observarse, los valores de volumen y volumen específico para cada una de las formulaciones no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con respecto al control. Estos resultados comprueban que la adición de bagazo y harina integral de amaranto en las proporciones propuestas no afectan drásticamente las características físicas del pan. En algunas publicaciones (Miranda-Ramos *et al.*, 2019; Montero-Quintero *et al.*, 2015), se ha encontrado que la adición de harina de amaranto en los panes, reduce significativamente el volumen respecto a los que se elaboran únicamente con harina refinada de trigo, esto se explica por una disminución del gluten, ya que este complejo de proteínas, que no está presente en el amaranto, es el principal responsable de la formación de redes que se relacionan estrechamente con el volumen del pan. Esta reducción en el volumen puede representar una desventaja traducida en menor rendimiento comparada con los panes de trigo.

Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que, los panes desarrollados con las formulaciones propuestas (4050, 5535, 7020), no presentaron disminución de dicho parámetro, esto puede atribuirse a que adicional al amaranto, se agregó también bagazo de cerveza. Este ingrediente derivado a su vez de amaranto y cebada posee principalmente gran contenido de proteínas, las cuales pueden interaccionar con los compuestos de la harina de trigo mediante puentes disulfuro, otorgando estabilidad al pan, permitiendo que este no reduzca su volumen, además de las proteínas, otro componente que influye en este parámetro, es la fibra dietética, la

cual se presenta en gran cantidad en el bagazo, y es corroborado en investigaciones realizadas previamente por Mussatto y Oszvald (Mussatto *et al.*, 2006; Oszvald *et al.*, 2009).

En cuanto a la relación de forma, las diferencias se atribuyen más al diseño de los panes que a un efecto de los ingredientes añadidos en cada formulación, sin embargo, el tamaño y forma corresponden a los tradicionales para un baguette artesanal.

3.4. Prueba de preferencia

Además de los parámetros físicos evaluados para cada formulación, los diferentes baguettes se sometieron a una prueba de preferencia. La prueba se realizó a 90 jueces no entrenados, a los cuales se les dieron a degustar las tres diferentes formulaciones de baguette en las que se variaron el contenido de harina de trigo marca Tres estrellas®, y harina de amaranto. En la tabla 19 se muestran los resultados obtenidos de esta prueba.

Tabla 19. Resultados de la prueba de preferencia.

Formulación	Puntaje
4050	184 ^a
3555	206 ^a
7020	150 ^b

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

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico, la formulación 4050 y 3555 no presentan diferencias significativas ($P \leq 0.05$), mientras que la formulación 7020 sí presenta una diferencia significativa con las dos primeras. No obstante, la formulación que fue seleccionada para realizarse el análisis químico proximal fue la muestra 3555 que corresponde a 35% de amaranto, 55% trigo y 10% gluten, la cual tenía una mejor textura y sabor, con la apariencia de un pan integral, donde se podrían observar partículas del bagazo (malta y amaranto), otorgándole una apariencia de un pan más saludable que contiene granos enteros, así misma mejora el color y olor de este baguette, proporcionándole una particularidad al producto.

3.5. Análisis químico proximal de la formulación seleccionada y muestra control

Una vez que la formulación 3555 fue la seleccionada como la mejor al gusto de los consumidores, se procedió a evaluar su calidad y determinar el efecto de la adición de harina de amaranto y grano gastado de cerveza, para esto también se realizaron las mismas determinaciones a la muestra control elaborada únicamente con harina refinada de trigo y para al final realizar una comparación. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados del análisis químico proximal de la muestra control y formulación seleccionada

Muestra	Humedad	Proteínas	Grasa (%)	Cenizas	Fibra (%)	CHO's
1000	4.67 ± 0.03 ^a	9.65 ± 0.46 ^a	5.37 ± 0.03 ^a	1.24 ± 0.02 ^a	2.76 ± 0.02 ^a	76.31 ^a
5535	2.23 ± 0.08 ^b	16.04 ± 0.49 ^b	10.36 ± 0.31 ^b	2.08 ± 0.01 ^b	9.38 ± 0.53 ^b	59.91 ^b

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

Los resultados que se obtuvieron en el porcentaje de proteína, fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) entre el pan control (1000) y el pan seleccionado (3555). El contenido proteico aumentó aproximadamente 1.7 veces en la muestra seleccionada, esto debido a la adición de bagazo y harina de amaranto, ambos materiales son conocidas por tener altos niveles de proteínas y por su contenido de aminoácidos esenciales tales como la lisina, que se encuentra en mayor cantidad, también poseen triptófano y metionina, sin embargo, el grano gastado aporta otros aminoácidos esenciales como fenilalanina y la histidina; cabe resaltar que la lisina es un aminoácido que se encuentra muy limitado en el grano de trigo (Ikram *et al.*, 2017; Lynch *et al.*, 2016).

Los resultados del contenido de grasa entre ambas muestras presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), siendo mayor para la muestra seleccionada en una proporción casi doble en comparación con la muestra control elaborada con 100% harina refinada de trigo. Este incremento se debe en parte, por la suma de aceite vegetal en la formulación con el fin de mejorar las características sensoriales del producto final y así tener una buena aceptación del consumidor. De igual forma dicho incremento está relacionado con la

adición de harina de amaranto, ya que el contenido de grasa en esta, resultó estar muy por encima respecto a la harina de trigo.

Diversas investigaciones respaldan que la fracción lipídica del grano de amaranto se compone principalmente de ácidos grasos poliinsaturados, tocoferoles e hidrocarburos, entre estos últimos el más importante; el escualeno. Este componente cuyas principales fuentes actuales de obtención son los aceites de hígado de tiburón y ballena, posee diversos efectos beneficiosos para la salud, como son, anticancerogénicos y al ser un intermediario en la biosíntesis del colesterol ayuda a disminuirlo, aunado a esto, presenta efectos antioxidantes que protegen a los lípidos insaturados además de actuar como secuestradores de radicales libres lo que reduce el riesgo de aparición de otras enfermedades. Por su parte, los ácidos grasos más abundantes en la fracción de amaranto, son el palmítico, linoléico, oleico y el ácido esteárico (Algara *et al.*, 2016; Bojórquez-Velázquez *et al.*, 2018; Kraujalis & Venskutonis, 2013). Es por ello que la presencia de estos compuestos limitantes en muchos alimentos resulta benéfica para el organismo.

El contenido de cenizas incrementó casi el doble en el pan de la formulación seleccionada comparado con el pan control, esto por la adición de la harina de amaranto y el grano gastado ya que ambos contienen gran cantidad de minerales como el calcio, fósforo, hierro, además bagazo presenta otros como el magnesio, silicio, sodio y en menor proporción el cobre, potasio y manganeso (Chauhan *et al.*, 2015; Ikram *et al.* 2017; Lynch, Steffen, & Arendt, 2016).

En lo referente al contenido de fibra, se muestran diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre ambas muestras. Esto se debe principalmente a la incorporación tanto de bagazo como de harina de amaranto, ya que se pudo determinar que ambos ingredientes contienen altos valores de este compuesto, el bagazo en mayor proporción, ya que se compone de capas de cáscara que corresponden al pericarpio de los granos, las cuales son ricas en celulosa, polisacáridos y lignina, representando alrededor del 70% de los compuestos totales del bagazo. (Ikram *et al.*, 2017; Mussatto *et al.*, 2006). Es por ello que el valor de fibra se incrementó 3.3 veces en la muestra seleccionada respecto a la muestra control, lo cual es favorable, ya que en la actualidad se busca aumentar la ingesta de alimentos ricos en fibra, esto por su efecto de saciedad lo que se relaciona con la pérdida de peso que podría ser una alternativa en el tratamiento de problemas de obesidad y sobrepeso, así como la mejora del sistema digestivo engeneral (García & Rodríguez, 2011).

3.6. Evaluación nutricional y funcional de la muestra seleccionada y control

Tabla 21. Resultados de los parámetros nutrimentales de la muestra control y formulación seleccionada

Muestra	Triptófano (g Trp/100 g proteína)	Digestibilidad <i>in vitro</i>	Almidón digerible (%)
1000	0.92 ± 0.03 ^a	83.59 ± 1.30 ^a	54.41 ^a
5535	0.78 ± 0.01 ^b	93.46 ± 1.29 ^b	50.51 ^a

*Letras diferentes en la misma columna indica diferencia estadísticamente significativa

La determinación del contenido de triptófano en ambas muestras presentó diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) mostrando una reducción en la muestra 5535. Este aminoácido esencial para la síntesis de proteínas es altamente sensible a temperaturas elevadas y aproximadamente una fracción del 90% se transporta en el organismo unido a las proteínas formando complejos. Existen investigaciones que comprueban una asociación directa del contenido de triptófano con la digestibilidad, esto se debe al nivel de hidrólisis que se presenta en las proteínas ya que, si estas se descomponen en fracciones más simples, serán digeridas con mayor facilidad, pero también da paso a que el triptófano sea dañado o degradado (Jiménez-Vera & Martínez-Manrique, 2017).

En el caso de los ingredientes que se emplearon en la elaboración de la muestra 5535 (harina de amaranto y bagazo) como ya se mencionó, presentaron una buena cantidad de triptófano, sin embargo, el baguette al ser un producto de panificación es sometido a altas temperaturas durante el proceso de horneado lo que puede repercutir en la disminución de la molécula de este aminoácido, el cual, es precursor de metabolitos que influyen sobre el comportamiento del organismo, como son percepción del dolor, estrés, periodo de sueño y estado de ánimo, así como en el consumo de alimentos, interviniendo también en la reducción de estrés oxidativo y producción de radicales libres (Matito, 2015).

Sin embargo, a pesar de la disminución en el contenido de triptófano en comparación con la muestra control, el baguette elaborado con bagazo y harina de amaranto aporta una fracción importante de este aminoácido esencial. La FAO (1985) recomienda una ingesta diaria de 3.2 mg/kg en una persona adulta. Tomando en consideración que, de acuerdo a una investigación realizada por la Cámara Nacional de la Industria del Vestido (Canaive), el peso de un mexicano promedio es de 68-74 kg en edad adulta, el baguette elaborado con la formulación 5535, aporta más del 50% de los requerimientos diarios de triptófano, lo cual es una cifra admisible y provechosa (Cortés, 2011; Matito, 2015).

De acuerdo a los resultados de digestibilidad *in vitro*, los panes mostraron una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.005$) entre el seleccionado y el control. La muestra seleccionada aumento 1.12 veces, lo cual significa que la mayor parte de la proteína es aprovechada, esto se debe a que, al someterse a un proceso de horneado, las proteínas se desnaturalizan causando un aumentando en la digestibilidad. En diversos estudios se evaluaron productos de panificación determinando que su digestibilidad mejoró después del horneado (Abdel-Aal, 2008)

En cuanto a los resultados de la determinación de almidón digerible, estos no presentan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre ambas muestras. El almidón digerible corresponde a la fracción de este carbohidrato complejo que es hidrolizado enzimáticamente y absorbido durante los primeros 20 minutos, acrecentando así los niveles de glucosa en la sangre, es por ello que se considera la principal fuente de energía en el organismo y tiene una relación directa con el índice glucémico. Su grado de digestibilidad y capacidad para aportar más o menos glucosa, está influenciado por sus características microestructurales y por los tratamientos a los que es sometido (Parada & Rozowski, 2008; Utrilla, 2012). Cuando se pretende regular la presencia de glucosa en la sangre se debe disminuir el consumo de este tipo de almidón (recomendación: 58%-60% de las calorías totales según FAO) por ello, actualmente la tendencia es consumir preferentemente alimentos con mayor contenido de almidón resistente en lugar de almidones de rápida digestión. Así pues, los valores presentados en la tabla 21 para el contenido de este polímero, se encuentran dentro de un rango aceptable para ambas muestras.

Tabla 22. Resultados de compuestos funcionales en la muestra control y formulación seleccionada.

Muestra	Capacidad antioxidante (%)	Fenoles	Almidón resistente	Fibra dietética
1000	39.82 ± 0.89 ^a	1.42 ± 0.02 ^a	9.9 ± 0.17 ^a	4.50 ± 0.06 ^a
5535	71.97 ± 0.32 ^b	1.76 ± 0.04 ^b	1.46 ± 0.09 ^b	34.52 ± 1.30 ^b

*Letras diferentes en la misma columna indica diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05)

En lo referente a la capacidad antioxidante se presentan diferencias estadísticamente significativas (P≤0.05), el contenido en la muestra elaborada con la formulación 5535 fue casi el doble que lo determinado en la muestra control. Esto se atribuye a la gran cantidad de compuestos presentes tanto en el bagazo como en la harina de amaranto, tales como ácido ferúlico y cafeico; escualeno, flavonoides, y moléculas de carácter fenólico a las que se atribuyen la facultad de inhibir los radicales libres y prevenir su generación mediante participación de iones metálicos. Al aumentar la velocidad de ruptura de radicales libres se reduce el riesgo de alteraciones en el organismo como infecciones, deterioro celular, envejecimiento prematuro e incluso cáncer (Algara *et al.*, 2016; Repo & Encina, 2008). Por lo tanto, el consumo del baguette elaborado con la formulación seleccionada, representa un gran aporte de dichos compuestos benéficos a la salud.

El contenido de compuestos fenólicos aumentaron 1.76 veces más en el pan seleccionado, esto se debe a que el pan control se encuentra hecho con 100% harina de trigo, mientras que en el pan seleccionado contiene bagazo y la mayoría de los compuestos fenólicos se encuentran en la cascara de la cebada, por lo tanto, el grano gastado contiene estos compuestos, entre los fenoles se encuentra los ácidos fenólicos y flavonoides que actúan como antioxidantes, anticancerígenos y eliminan radicales libre. Por otra parte, el incremento de estos compuestos también se atribuye a añadir otros ingredientes, tales como la cerveza, la cual tiene una gran variedad de estos compuestos que provenientes de la adición del lúpulo y la malta durante su elaboración (Fărcaș *et al.* 2015; Lynch, Steffen, & Arendt 2016; Martínez-Flórez *et al.* 2002).

Por su parte el almidón resistente puede considerarse una fuente de fibra dietética que se forma durante la cocción del pan, los resultados de esta prueba presenta una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) debido a que el pan control está hecho de trigo que es un cereal con alto contenido de almidón y el baguette seleccionado cuenta con cebada y amaranto que son semillas con bajos niveles de este polisacárido, por lo tanto, se observa una disminución en el baguette seleccionado respecto a la muestra control. Por otra parte, este almidón no se absorbe ni se digiere durante su paso por el tracto digestivo y llega directamente al colon para después fermentarse con la microflora del colon, donde se producen ácidos grasos de cadena corta que son asociados con beneficios a la salud como reducir el riesgo de desarrollar trastornos gastrointestinales, enfermedades inflamatorias, así como inhibir el desarrollo de cáncer de colon (Djurle, Andersson, & Andersson 2018; Punia *et al.* 2019).

La fibra dietética está constituida por polisacáridos y lignina principalmente, que son resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas. Los productos horneados hechos de diferentes cereales tienden a contener altos niveles de fibra dietética y para muestra de esto, los resultados que se obtuvieron de fibra dietética presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.005$) entre ambas muestras, mostrando que el pan seleccionado (5535) es mayor al pan control, el aumento fue de 7.68 veces más, esto porque al incorporar el grano gastado aumentó este valor debido que es considerado como una fuente de suplemento de fibra dietética de bajo costo, de tal manera que añadiendo los demás ingrediente mejoran este valor, mientras que el pan control solo está elaborado a partir de harina de trigo como ya sabemos es carente de esta fibra.

La FAO/OMS recomienda que la ingesta diaria de fibra dietética debe ser de 25-30g. Un estudio realizado por la Secretaria de Salud en México, reportó que los adultos consumen entre 16 y 18 gramos de fibra diaria, esto nos indica que los adultos solo ingieren aproximadamente la mitad de lo recomendado, provocando que las personas sean más vulnerables a padecer ciertas enfermedades. Por otra parte, el baguette seleccionado (5535) proporciona la fibra dietética que debemos de consumir al día. Al consumir un alimento con altos niveles de fibra dietética disminuyes el riesgo a padecer enfermedades como la obesidad, diabetes y reducir el riesgo de sufrir enfermedades cardiacas (Secretaria de Salud, 2016; Slavin 2005; Stojceska 2011).

Con base en estos resultados, se afirma que la adición tanto de harina integral de amaranto como de grano gastado de cerveza en un producto de panificación tiene un efecto significativo, mejorando la calidad nutritiva y funcional de los alimentos, permitiendo ofrecer productos saludables a los consumidores

3.7. Relación de eficiencia proteica (PER) y digestibilidad *in vivo*

Con el fin de realizar una comparación, se llevó a cabo la determinación de digestibilidad y relación de eficiencia proteica (PER) para la muestra control (1000), el baguette elaborado con la formulación seleccionada (5535) y la caseína. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 23.

Tabla 23. Resultados de PER y digestibilidad *in vivo*

Muestra	PER	PER ajustado	Digestibilidad <i>in vivo</i>
Caseína	3.23±0.37 ^a	-	95.23±1.63 ^a
1000	0.90±0.11 ^b	0.69 ^a	92.73±1.49 ^a
5535	1.17±0.09 ^c	0.90 ^b	92.08±2.81 ^a

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

Los valores determinados hacen referencia a la calidad nutritiva de la proteína, la cual se relaciona fundamentalmente con su contenido de aminoácidos esenciales. La caseína por ejemplo se considera una proteína de excelente calidad, ya que esta contiene todos los aminoácidos esenciales, al igual que la albúmina. Según Friedman, para que una proteína se considere de buena calidad debe tener un valor de PER por encima de 2.0; los valores entre 1.5 y 2.0 corresponden una calidad intermedia, y finalmente, un PER equivalente a menos de 1.5 se considera de baja calidad (Friedman, 1996). En la tabla 23 se puede observar un valor alto correspondiente a la caseína y es por ello que se emplea para realizar la comparación. Los datos obtenidos tanto para la muestra control como para la formulación seleccionada exhiben diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) con respecto a la caseína, de igual forma entre ellas, siendo 1.3 veces mayor para la formulación 5535, esto representa una mejor calidad de la proteína atribuida a esta muestra, sin embargo, ambas se encuentran por debajo de 1.5.

No obstante, investigaciones como la de Lenzi de Almeida, respaldan que valores bajos de PER no representan únicamente una mala calidad nutritiva de proteína, sino que distintos factores intervienen en dichos resultados, por ejemplo, el contenido de fibra, el cual es abundante en el baguette elaborado. A este compuesto se le atribuye provocar una sensación de saciedad lo que conlleva una ingesta menor de alimento y de la misma manera facilita la evacuación de las heces, lo que interviene directamente con el valor que se obtiene de PER. Además de las fibras, existen factores antinutrimientales, los cuales pueden interferir en el aprovechamiento de las proteínas y no equivale a que estas sean de baja calidad (Lenzi de Almeida *et al.*, 2008; Montero-Quintero *et al.*, 2015). En un estudio realizado por Yáñez, se determinó un valor de PER igual a 1.94 para muestras de amaranto solo y se ha demostrado su buen balance de aminoácidos esenciales, por lo que haber obtenido valores bajos para el producto elaborado puede atribuirse a distintos factores como los ya mencionados y no directamente a una mala calidad de la proteína presente (Montero-Quintero *et al.*, 2015; Yáñez *et al.*, 1994).

Por su parte la digestibilidad *in vivo* o aparente en ratas nos permite conocer la calidad del alimento a través de la calidad proteica, debido a que no todas son digeridas ni absorbidas por el aparato digestivo, esto se hace a través de la cuantificación de nitrógeno que se encuentra en las heces fecales de los roedores, si la cantidad de nitrógeno ingerido fuera totalmente absorbido tendría una digestibilidad igual a 100, mientras que el nitrógeno que se encuentra en el excremento representa la fracción no absorbida (Parra, Gomez, & Zoot 2009; Suárez, Kizlansky, & López, 2006).

Para esta prueba se evaluó una proteína de alto valor biológico que fue la caseína, donde su digestibilidad aparente no presentó una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con respecto a las muestras control y seleccionada, lo que indica que nuestro producto tiene una digestibilidad aceptable. La FOA/OMS clasifican a la digestibilidad aparente de la proteína en tres rangos: la alta que debe tener un valor de 93 a 100%, digestibilidad intermedia del 86 a 92% y baja entre 70 a 85%, esto nos indica que la digestibilidad de la caseína es alta, mientras que la del pan seleccionado es intermedia, esto se debe a que el baguette seleccionado presenta un alto contenido de fibras solubles e insolubles, reduciendo así la digestibilidad de las proteínas que entran en los organismos animales, esta disminución también está relacionada con el contenido de nitrógeno que se encuentra en el excremento lo cual es muestras de que el

contenido total de proteínas no está siendo absorbido completamente (María del Refugio Falcón, Jesús Manuel Barrón, Ana Lourdes Romero, & Milagros Francisca Domínguez, 2011).

3.8. Factores antinutrimientales

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la determinación de factores antinutrimientales, ya que estas sustancias se encuentran muy comúnmente presentes en los cereales y al ser estas nuestras materias primas en la elaboración del baguette es necesario cuantificarlas para asegurar que dichos compuestos no interfieran disminuyendo el aprovechamiento de nutrientes en el producto elaborado.

Tabla 24. Resultados de la determinación de factores antinutrimientales en la muestra control y seleccionada

Muestra	Ácido fítico	Taninos	Inhibidores de tripsina
1000	No detectado	0.307±0.0257 ^a	No detectado
5535	4.47±0.567 ^a	0.355±0.0098 ^a	No detectado

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

El ácido fítico no pudo ser detectado en la muestra control, ya que la harina de trigo utilizada está hecha únicamente del endospermo siendo carente de este ácido, mientras que la mayor concentración de ácido fítico se encuentra en el salvado que es separado del endospermo durante el proceso de molienda; a pesar de esto también se sabe que el uso de levadura en la panificación y el proceso de fermentación puede reducir el contenido de ácido fítico presentes en el producto final. Por su parte, el baguette seleccionado sí presenta este compuesto, debido que el grano de amaranto se utilizó con pericarpio donde se encuentra mayormente el ácido fítico, al igual que en la cebada, pero en una menor concentración (Martínez-Domínguez, 2002; Sotelo, Mendoza, & Argote, 2002). El ácido fítico está relacionado con la fibra, al tener un producto con altos niveles de fibra no resulta extraño que presente alguna proporción de este ácido, produciendo una disminución sobre la biodisponibilidad en los minerales.

Como se observa en la tabla 24, los resultados de la determinación de taninos en ambas muestras no presentan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Estos compuestos naturales que se generan en las plantas mediante metabolismo secundario, son muy abundantes en las semillas, presentan propiedades fungicidas, antimicrobianas e insecticidas que fungen como mecanismos de defensa ante factores externos. Dichas sustancias de carácter fenólico pueden limitar la absorción de minerales y proteínas en el organismo, esto debido a que son capaces de unirse a enzimas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides y proteínas principalmente, también pueden formar complejos con el hierro de los alimentos, dificultando así la digestión y aprovechamiento de nutrientes ya que la mayoría de los organismos animales no metabolizan estos complejos. Por otro lado, debido al carácter fenólico de estos compuestos, también pueden atribuírseles características antioxidantes (Elizalde *et al.*, 2009).

Siendo que estos compuestos son abundantes tanto en los granos de amaranto como en bagazo, no resulta extraño que se presentaran en el producto final. Investigaciones anteriores como la de Olapade, también determinó la presencia de taninos en galletas elaboradas con una mezcla de harina de trigo, así como de otros granos y legumbres, esto a pesar de que los productos fueron sometidos de igual manera a un proceso de horneado (Olapade & Adeyemo, 2014). Se ha demostrado que el tratamiento térmico es más efectivo para otros factores antinutrimientales como son los inhibidores de proteasas, sin embargo, ha sido cuestionable para la eliminación de taninos. Savón y Scull sustentan este supuesto y hacen una recopilación de los posibles métodos aplicables para eliminar estos compuestos, entre ellos se encuentran la germinación, fermentación y tratamientos químicos como álcalis, ácidos y solventes (Savón & Scull, 2006).

Por su parte, los inhibidores de tripsina no fueron determinados en ambas muestras, esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, dichos componentes son termolábiles, por ello a pesar de estar presentes en los cereales, son eliminados por efecto de la temperatura durante el proceso de horneado, no interfiriendo con el aprovechamiento de nutrientes en el consumo del producto final (Elizalde *et al.*, 2009; Savón & Scull, 2006).

3.9. Prueba de nivel de agrado

Posterior a la evaluación nutrimental y funcional del baguette elaborado con la formulación seleccionada, se realizó la prueba de nivel de agrado, teniendo como objetivo, determinar el grado de aceptación del producto en los consumidores, permitiendo conocer el posible éxito que tendría dicho producto en el mercado. Esta prueba se realizó a un grupo representativo de 100 jueces no entrenados, los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 25.

Tabla 25. Resultados de la prueba sensorial de nivel de agrado.

Muestra	Número de jueces	Calificación
5535	100	7.01

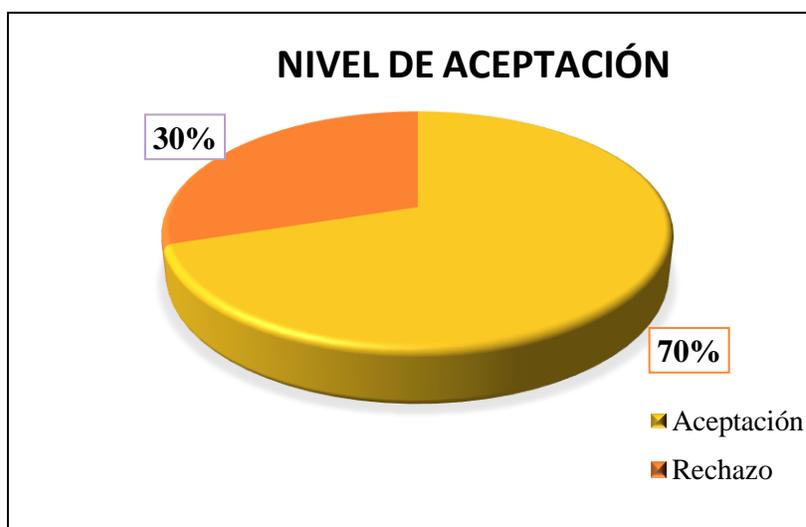


Figura 51. Gráfico de nivel de agrado

Como se observa, el baguette elaborado con la formulación seleccionada (5535) obtuvo una calificación aprobatoria y una aceptación de más de la mitad de personas en un grupo representativo. Estos resultados demuestran que, al añadir harina de amaranto y bagazo de cerveza a un producto de panificación, en este caso baguette, además de mejorar su calidad nutritiva y funcional se obtiene un alimento con posible éxito en el mercado, así mismo resulta ser innovador y puede categorizarse dentro de una tendencia actual que es la de consumir alimentos artesanales y funcionales.

CONCLUSIONES

Se logró obtener una cerveza estilo weizen, al mezclar amaranto y malta, con buenas características fisicoquímicas y sensoriales para obtener el bagazo que se usó como materia prima.

De acuerdo al análisis químico proximal de las materias primas, el contenido de proteínas y fibra en la malta y el bagazo fue alto. Además, se comprobó también, que la harina integral de amaranto muestra una mejor calidad química respecto a la harina refinada de trigo, por lo tanto, pueden ser empleados como complementos en la elaboración del pan.

De las tres formulaciones empleadas para el desarrollo del pan, la formulación con mejores características físicas y que fue seleccionada mediante una prueba sensorial de preferencia corresponde a la constituida por 55% harina refinada de trigo, 35% harina integral de amaranto y 10% de gluten.

La formulación seleccionada para la elaboración del pan tipo baguette presentó mejor calidad nutrimental y funcional respecto a una formulación control elaborada únicamente con harina de trigo. El contenido de proteínas y fibra fue mayor en la muestra seleccionada y presentó un considerable incremento en la capacidad antioxidante, fibra dietética, así como compuestos fenólicos. Mientras que, el contenido de factores antinutrimientales no fueron considerables para ambas formulaciones.

La aceptación por parte de los consumidores para el pan tipo baguette realizado con la formulación seleccionada fue del 70% con una calificación de 7.00 en una escala del 1 al 10. Estos resultados se consideran aceptables y se esperaría que el producto tuviera oportunidad de éxito en el mercado.

RECOMENDACIONES

Realizar un perfil de aminoácidos para comprobar la calidad proteica que presenta el producto.

Realizar un perfil de ácidos grasos que permita corroborar la calidad de las fracciones lipídicas contenidas en el producto.

Determinar la inocuidad del producto mediante un análisis microbiológico que permita ofrecer seguridad alimentaria al consumidor.

Cuantificar el periodo de vida útil del producto final.

Llevar a cabo un estudio de factibilidad financiera para conocer la viabilidad que tendría el producto para su comercialización.

REFERENCIAS

- Abadia, B., Abbate, P. E., Álvarez, C., Aramburu M. F., Barraco, M., Bartosik, R., Tulli, M. C. (2017). Manual del Cultivo del Trigo, 224. INPI, Argentina.
- Abdel-Aal, E. S. M. (2008). Effects of baking on protein digestibility of organic spelt products determined by two in vitro digestion methods. *LWT - Food Science and Technology*, 41(7), 1282–1288
- Algara, P., Gallegos, J., & Reyes, J. (2016). El Amaranto y Sus Efectos Terapéuticos. *Revista Academica de Investigación*, 21, 55–73.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18th. USA: AOAC INTERNATIONAL.
- Arcia, P., Curutchet, A., Cozzano, S., & Rodríguez, S. (2018). Bagazo de cervecería como ingrediente en el desarrollo de panificados. Impacto del rotulado en la intención de compra y aceptabilidad. *Revista Del Laboratorio Tecnológico Del Uruguay*, 16(16), 40–46.
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). Wheat and other Triticum grains. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. Woodhead Publishing Limited.
- Avello, M., & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, 494, 161–172.
- Asociacion Mexicana de Amaranto (2003). Amaranto, el Mejor Alimento de Origen Vegetal. Fecha de consulta: 12 de Enero de 2020. Disponible: <http://www.amaranto.com.mx/salud/propiedades/propiedades.htm>

- Bamforth, C.W. 2003. BEERS. History and Types. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*: 418–22.
- Barrón, M., Falcón M., Romero A. & Francisca S. 2011. Efecto adverso en la calidad proteica de los alimentos de dietas con alto contenido de fibra dietaria. *Revista Chilena de Nutrición*.38(3), 369-75.
- Bracho, B. E. (2019). *Desarrollo de una base para pay con harina de amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.) y chíá (Salvia hispanica L.)*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bressani, R. (2006). *Estudios Sobre la Industrialización del Grano de Amaranto, Caracterización Química y Nutricional de Productos Intermedios y Finales del Procesamiento*. Proyecto FODECYT No.23-2002, Guatemala.
- Bojórquez-Velázquez, E., Velarde-Salcedo, A. J., De León-Rodríguez, A., Jimenez-Islas, H., Pérez-Torres, J. L., Herrera-Estrella, A., Barba de la Rosa, A. P. (2018). Morphological, proximal composition, and bioactive compounds characterization of wild and cultivated amaranth (*Amaranthus* spp.) species. *Journal of Cereal Science*, 83, 222–228.
- Bourgeois, C. M., & Larpent, J. P. (1995). *Microbiología Alimentaria II: Fermentaciones Alimentarias*. Zaragoza, España: Acribia.
- Buglass, A.J. 2010. 2.6 Beer. In *Handbook of Alcoholic Beverages: Technical, Analytical and Nutritional Aspects, I and II*, ed Alan J. Buglass, 132-210.
- Calvel. (1983). *La Panadería Moderna*. Buenos Aires: AméricaLee.
- CANIMOLT (2007). Cámara Nacional de la industria molienda de trigo. Fecha de consulta: 12 de Octubre de 2019. Disponible: <https://www.canimolt.org/>

- Carrillo-Nieves, D., Rostro-Alanís, M. J., de la Cruz-Quiroz, R., Ruiz, H. A., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2019). Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102 (2019),63–74.
- Chagaray, A. (2005). *Estudio de Factibilidad del Cultivo del Amarantho*. Provincia de Catamarca, Argentina: Dirección Provincial de Programación del Desarrollo, Ministerio de Producción y Desarrollo.
- Chaquilla, G., Balandrán, R., Mendoza, A., & Mercado, J. 2018. Propiedades y Posibles Aplicaciones de Las Proteínas de Salvado de Trigo. *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, 12(2), 137-47.
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus spp.*) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 939–945.
- Chmelík, Z., Šnejdrlová, M., & Vrablík, M. (2019). Amaranth as a potencial dietary adjunct of lifestyle modification to improve cardiovascular risk profile, *Nutrition Research*. 72, 36- 45-
- Collar, C. (2016). Bread: Types of Bread. In *Encyclopedia of Food and Health*, 3rd ed., 500–507. Elsevier Ltd.
- CONACYT (2019). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Fecha de consulta: 10 de Octubre del 2019. Disponible: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/trigo>
- Coelho, E., Rocha, M. A. M., Saraiva, J. A., & Coimbra, M. A. (2014). Microwave superheated water and dilute alkali extraction of brewers' spent grain arabinoxylans and arabinoxyloligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 99, 415–422.

Cortés, Y. D. (2011). *Desarrollo de un pan complementado con harina de amaranto (Amaranthus hypochondriacus) con alta calidad nutrimental*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

Cultura cervecera (2017). Cervezas de Trigo, una opción refrescante y ligera. Fecha de consulta: 4 de Noviembre de 2019. Disponible: <https://cervecerosdemexico.com/2017/07/06/cervezas-de-trigo-una-refrescante-y-ligera-opcion/>

Cultura cervecera (2019). Guía de principiantes para las cervezas de trigo. Fecha de consulta: 17 de Octubre del 2019. Disponible: <https://maltosaa.com.mx/guia-principiantes-cervezas-de-trigo/>

Cultura cervecera (2018). La diferencia entre la fermentación lager y ale. Fecha de consulta 30 de Octubre de 2019. Disponible: <https://cervecerosdemexico.com/2018/01/16/la-diferencia-entre-la-fermentacion-lager-y-ale/>

Cultura cervecera (2018). Las cervezas artesanales en México. Fecha de consulta: 12 de Marzodel 2020. Disponible: <https://cervecerosdemexico.com/2018/11/06/las-cervezas-artesanales-en-mexico/>

Cunniff, P. M., Fossey, S. A., Auerbach, M. A., & Song, J. W. (1993). Mechanical Properties of Major Ampulate Gland Silk Fibers Extracted from *Nephila clavipes* Spiders. In *Silk Polymers* (pp. 234–251). Washington, DC.: American Chemical Society,

Cruz, M. (2019). *Elaboración de cerveza artesanal de amaranto (Amaranthus hypochondriacus) estilo weizen*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

Economía cervecera (2017). ¿Cuáles son los 10 estados de mayor producción cervecera en México? Fecha de consulta 4 de Noviembre de 2019. Disponible: <https://cervecerosdemexico.com/2017/08/28/cuales-son-los-10-estados-de-mayor-produccion-cervecera-en-mexico/>

- Djurle, S., Andersson, A. A. M., & Andersson, R. (2018). Effects of baking on dietary fibre, with emphasis on β -glucan and resistant starch, in barley breads. *Journal of Cereal Science*, 79, 449–455.
- Drago, M. E., López-López, M., & Saínz-Espuñes, T. del R. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(4), 58–68.
- Donadini, G, and Porretta, S. (2017). Uncovering Patterns of Consumers Interest for Beer: A Case Study with Craft Beers. *Food Research International* 91, 183–98.
- Dyner, L., Drago, S., Piñeiro, A., Sánchez, H., González, R., Villaamil, E., & Valencia, M. (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), 69–78.
- Elizalde, A. de D., Porrilla, Y. P., Chaparro, & Carolina D. 2009). Factores antinutricionales en semillas. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 46–53.
- Eßlinger, H. M., & Brauhaus, F. (2012). Beer. In *Encyclopedia of industrial chemistry*, 5, 177–220.
- Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, C., & Escobedo-López, D. (2010). *Conservación y uso de los recursos genéticos de amaranto en México*, p. 201. Celaya: Centro de Investigación Regional Centro.
- Fărcaș, A. C., Socaci, S. A., Dulf, F. V., Tofană, M., Mudura, E., & Diaconeasa, Z. (2015). Volatile profile, fatty acids composition and total phenolics content of brewers' spent grain by-product with potential use in the development of new functional foods. *Journal of Cereal Science*, 64, 34–42
- Ferrari, J. L., Villagra, S., Claps, L., & Tittone, P. (2017). Reutilización de bagazo de cebada cervecera por secado y pelletización como suplemento forrajero. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 67, 43–46

- Friedman, M. (1996). Nutritional value of proteins from different food sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(1), 6–29.
- Frontela, C., García-Alonso, F., Ros, G. & Martínez, C. 2008. Phytic Acid and Inositol Phosphates in Raw Flours and Infant Cereals: The Effect of Processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(4), 343–50.
- Garg, A., Malafrente, L., & Windhab, E. J. (2019). Baking kinetics of laminated dough using convective and microwave heating. *Food and Bioprocess Processing*, 115, 59–67.
- García G., Q. R., L. M. (2004). Parte II. Transformación y producción de alimentos. *En Biotecnología alimentaria* (153-383). México, D.F. Limusa S.A de C.V.
- García, L. (2012). *Variedades de amaranto y fechas de siembra para rendimiento de grano y forraje en San Luis Potosí*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- García, O., & Rodríguez, C. (2011). La educación en nutrición: el caso de la fibra en la dieta. *Revista de Investigación*, 35(73), 1–14.
- Gómez-Corona, C., Escalona-Buendía, H. B., Chollet, S., & Valentin, D. (2017). The building blocks of drinking experience across men and women: A case study with craft and industrial beers. *Appetite*, 116, 345–356.
- Goñi, I., L. García-Diz, E. Mañas, & F. Saura-Calixto. 1996. Analysis of Resistant Starch: A Method for Foods and Food Products. *Food Chemistry*, 56(4), 445–49.
- González V., Rodeiro C., & Vila S. 2014. Introducción Al Análisis Sensorial Estudio Hedónico Del Pan En El IES Mugaridos. IV Concurso Incubadora de Sondaxes e Experimentos. *SGAPEIO*.

- Grundas, S.T., & Wrigley, C. 2004. WHEAT. Ultrastructure of the Grain, Flour, and Dough. *Encyclopedia of Grain Science*, 391–400.
- Guillamón, E., Pedrosa, M. M., Burbano, C., Cuadrado, C., Sánchez, M. de C., & Muzquiz, M. (2008). The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. *Food Chemistry*, 107(1), 68–74.
- Gutiérrez, V. (2018). Cerveza, de México para el mundo. *El Economista*. Disponible: <https://www.economista.com.mx/arteseideas/Cerveza-de-Mexico-para-el-mundo-20180802-0129.html>
- Harrison, M. A. (2009). Beer/ Brewing. In *Encyclopedia of Microbiology*, 23–33.
- Haug, W. & Lantzsch, H. (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 34, 1432-14261
- Hemery, Y., Rouau, X., Lullien-Pellerin, V., Barron, C., & Abecassis, J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 327–347.
- Hernández, M., & Sastre, A. (1999). *Tratado de Nutrición*. Madrid: Díaz de Santos.
- Hill, G.D 2003. Plant Antinutritional Factors. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)* Academic
- Hornsey, I. S., & Brewery, N. (2016). Beer: History and Types. *Encyclopedia of Food and Health*, 1st ed.
- Hsu, H W, D L Vavak, L D Satterlee & G A Miller. 1977. A Multienzyme Technique for Estimating Protein. *Journal Food Science*, 45(5), 1269–73.

- Hughes, P. 2003. Beers | Raw Materials. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 422-29.
- Huxley, S. (2011). *La cerveza, poesía líquida*. (Universiad). España.
- Ikram, S., Huang, L. Y., Zhang, H., Wang, J., & Yin, M. (2017). Composition and Nutrient Value Proposition of Brewers Spent Grain. *Journal of Food Science*, 82(10), 2232–2242.
- INEGI. 2017. Estadísticas a Propósito de La Actividad de Elaboración de Cerveza.
- ISO 9648 (1988). Determinación del contenido de taninos en sorgo. *International Organization of Standardizations*. ISO/DIS 9748, 175.215.
- Jaeger, S., Worch, T., Phelps, T., Jin, D., Cardello, A. (2020). Preference Segments among Declared Craft Beer Drinkers: Perceptual, Attitudinal and Behavioral Responses Underlying Craft-Style vs. Traditional-Style Flavor Preferences. *Food Quality and Preference* 82.
- Jiménez-Vera, V., & Martínez-Manrique, E. (2017). Influencia del tratamiento térmico (tostado) en semillas de chía sobre su calidad nutrimental. In *Memorias 52° Congreso Mexicano de Química y 36° Congreso Nacional de Educación Química*. Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- Jimoh, M. O., Afolayan, A. J., & Lewu, F. B. (2018). Suitability of Amaranthus species for alleviating human dietary deficiencies. *South African Journal of Botany*, 115, 65–73.
- Kaur, S., Singh, N., & Rana, J. C. (2010). Amaranthus hypochondriacus and Amaranthus caudatus germplasm: Characteristics of plants, grain and flours. *Food Chemistry*, 123(4), 1227–1234.
- Kitryte, V., Šaduikis, A., & Venskutonis, P. R. (2015). Assessment of antioxidant capacity of brewer's spent grain and its supercritical carbon dioxide extract as sources of valuable dietary ingredients. *Journal of Food Engineering*, 167, 18–24.

- Kraujalis, P., & Venskutonis, P. R. (2013). Supercritical carbon dioxide extraction of squalene and tocopherols from amaranth and assessment of extracts antioxidant activity. *Journal of Supercritical Fluids*, 80, 78–85.
- Kumari, B., Tiwari, B. K., Walsh, D., Griffin, T. P., Islam, N., Lyng, J. G., Rai, D. K. (2019). Impact of pulsed electric field pre-treatment on nutritional and polyphenolic contents and bioactivities of light and dark brewer's spent grains. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54(April), 200–210.
- Lamothe, L. M., Srichuwong, S., Reuhs, B. L., & Hamaker, B. R. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food Chemistry*, 167, 490–496.
- Leidi, E. O., Altamirano, A. M., Mercado, G., Rodriguez, J. P., Ramos, A., Alandia, G., ... Jacobsen, S. (2018). Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. *Journal of Functional Foods*, 51, 86–93.
- Lenzi de Almeida, K. C., Spreafico, F., Teles, G., & Guzmán-Silva, M. A. (2008). Efecto de la semilla de linaza (*Linum Usitatissimum*) en el crecimiento de ratas wistar. *Revista Chilena de Nutricion*, 35(4), 443–451.
- León, A., & Rosell, C. (2007). *Trigo. De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. ISEKI-Food.
- Leonel, M., Batista, A. C., Rodrigues da Silva, M. J., Azevêdo, J. M., & Leonel, S. (2019). Banana fruits with high content of resistant starch: Effect of genotypes and phosphorus fertilization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 30(40), 1–7.
- Livens, S. 2016. Beer: Fermentation. *Encyclopedia of Food and Health*: 339–44.

- López, D. N., Galante, M., Raimundo, G., Spelzini, D., & Boeris, V. (2019). Functional properties of amaranth, quinoa and chia proteins and the biological activities of their hydrolyzates. *Food Research International*, *116*, 419–429.
- Londoño Londoño, J. 2012. Antioxidantes: Importancia Biológica y Métodos Para Medir Su Actividad. In *Desarrollo y Transversalidad Serie Lasallista Investigación y Ciencia*, ed. Corporación Universitaria Lasallista. Colombia, 129–62.
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, *122*(4), 553–568.
- Ma, D., Zuo, Y., Sun, D., Wang, C., & Guo, T. (2013). Characterization of the TaMIPS gene from winter wheat (*Triticum aestivum L.*) and changes in its expression pattern with phytic acid accumulation in seeds during grain filling. *Journal of Cereal Science*, *57*(3), 437–443.
- Mapes, C. (2010). El amanto (*Amaranthus spp.*) planta originaria de México. *AAPAUNAM*, *4*, 217–222.
- Mapes, E. (2015). El amaranto. *Ciencia*, *66*(3), 8–15.
- Marcin, K., Karp, S., Wyrwisz, J., & Niu, Y. (2018). Physicochemical properties of dietary fibers extracted from gluten-free sources: quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*) and millet (*Panicum miliaceum*). *Food Hydrocolloids*, *85*, 321– 330.
- Martínez-Manrique, Enrique y Jiménez-Vera, Verónica. 2016. *Cereales (Técnicas de Análisis)*. FES-Cuautitlán, UNAM. México.
- Martínez-Manrique, Enrique y Jiménez-Vera, Verónica. 2016. *Amaranto. Relación entre su deterioro y la calidad nutrimental*. Editorial Académica Española.

- Martínez-Mora, E. O. (2015). Caracterización morfológica y contenido de almidón resistente y disponible en bananos (*Musa sapientum*) exportables del Ecuador. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 19(3), 153–159.
- Matito, S. (2015). *Efecto de la ingesta de cereales enriquecidos con triptófano sobre el sueño, melatonina, serotonina, cortisol y estado antioxidante en personas mayores*. Tesis Doctoral. Departamento de Fisiología, Universidad de Extremadura.
- Matz, S. 1999. *Baker Technology and Engineering*. 3°. Ed. Matz S. Pantech Internarional. USA.
- Mercado-Mercado, G., De la Rosa, L., Wall-Medrano, A., López, J. A., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 36–46.
- Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(5), 307–313.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2019. Bagazo de Cerveza. *FAOstat para el producto beer of barley (cerveza de cebada)*. 17–19. Argentina.
- Miranda-Ramos, K. C., Sanz-Ponce, N., & Haros, C. M. (2019). Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *LWT - Food Science and Technology*, 114(108418), 1–8.
- Mohan, V. R., Tresina, P.S., & Daffodil, E.D. 2015. Antinutritional Factors in Legume Seeds: Characteristics and Determination. *Encyclopedia of Food and Health*, 211–220.
- Molina, J. L. (1987). *La cebada cervecera (calidad, cultivo y nociones sobre fabricacion de malta y cerveza)*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de Investigación y Capacitación Agraria. Servicio de Extensión Agraria.

- Montero-Quintero, K. C., Moreno-Rojas, R., Molina, E. A., Colina, M. S., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regimenes dietéticos. *Interciencia*, *40*(7), 473–478.
- Montoya-Hernández, M. V., López-Ramírez, J. E., Pérez-Martínez, F. J., Rojas, J. V., & Estarrón-Espinosa, M. (2015). Calidad de diferentes cervezas mexicanas comerciales. In U. A. de G. 5to. Congreso Internacional Biología, Química y Agronomía (Ed.), *Ciencia e Innovación Tecnológica: Estrategia oara el bienestar* (1283–1288). Guadalajara, Jalisco: Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Moreira, M. M., Morais, S., Carvalho, D. O., Barros, A. A., Delerue-Matos, C., & Guido, L. F. (2013). Brewer's spent grain from different types of malt: Evaluation of the antioxidant activity and identification of the major phenolic compounds. *Food Research International*, *54*(1), 382–388.
- Mujica, A., Jacobsen, S.-E., Izquierdo, J., & Pierre, J. (2001). Valor Nutritivo y Usos de la Quinua. In G. Ayala, L. Ortega, & C. Moron (Eds.), *Cultivos Andinos Quinua*. Santiago, Chile: FAO.
- Murcia, J. (2011). El pan en la base de la dieta mediterranea. *Distribución y Consumo*, *21*(115), 64–68.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, *43*, 1–14.
- Nigam, P. S. 2017. An Overview: Recycling of Solid Barley Waste Generated as a by-Productin Distillery and Brewery. *Waste Management* *62*: 255–61.
- NOM-142-SSA1-1995. Bienes y Servicios. Bebidas Alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado Sanitario y Comercial.
- NOM-199-SCFI-2017. Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de pruebas.

Nothaft, A. (2003). Beer/Microbreweries. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* 2ed.,448–451.

NMX-F-103-1982. ALIMENTOS. FRUTAS Y DERIVADOS. DETERMINACIÓN DE GRADOS BRIX.

Olapade, A., & Adeyemo, M. (2014). Evaluation of cookies produced from blends of wheat, cassava and cowpea flours. *International Journal of Food Studies*, 3, 175–185.

Ortega-Heras, M., & Gonzáles- Sanjosé, M.L. 2003. Wort Production. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2001), 429–34.

Ortiz, L. (2018). *Elaboración de un bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

Osella, C. A., Sánchez, H. D., González, R. J., & de la Torre, M. A. (2006). Molienda de Trigo: Ensayos Comparativos de Escala Industrial con Planta Piloto. *Información Tecnológica*, 17(3), 33–40

Oszvald, M., Tamás, C., Rakszegi, M., Tömösközi, S., Békés, F., & Tamás, L. (2009). Effects of incorporated amaranth albumins on the functional properties of wheat dough. *J Sci Food Agri*, (89), 882–889.

Parada, J. A., & Rozowski, J. (2008). Relación entre la respuesta glicémica del almidón y su estado microestructural. *Revista Chilena de Nutrición*, 35(2), 84–92.

Parra, J. S., Gomez, A. Z., & Zoot. (2009). Importancia de la utilización de diferentes técnicas de digestibilidad en la nutrición y formulación porcina. *MVZ, Córdoba*, 14(1), 1633–1641.

- Parker, D K., & Campden, B. 2012. Beer: Production, Sensory Characteristics and Sensory Analysis. In *Alcoholic Beverages: Sensory Evaluation and Consumer Research*, ed. John Piggott. Woodhead Publishing Limited, 133–58.
- Perez, N., Mayor, G., & Navarro, V. J. (2001). *Procesos de Pastelería y Panadería*. Zaragoza, España: Acribia.
- Pires, E., & Brányik, T. 2015. *Biochemistry of Beer Fermentation*. Springer I. Spinger.
- Prasad, K., & Weigle, J. 1975. Association of Seed Coat Factors with Resistance to Rhizoctonia Solani in Phaseolus Vulgaris.” *Phytopathology* 66: 342–45.
- PROFECO. (2018). La cerveza: más allá de la fermentación. Fecha de consulta: 3 de Noviembre del 2019. Disponible: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/la-cerveza-mas-alla-de-la-fermentacion?state=published>
- Punia, S., Siroha, A. K., Sandhu, K. S., & Kaur, M. (2019). Rheological behavior of wheat starch and barley resistant starch (type IV) blends and their starch noodles making potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 595–604.
- Quaglia, G. (1991). *Ciencia y Tecnología de la Panificación*. Zaragoza, España: Acribia
- Quiroga, M. (2017). México, cuarto productor mundial de cerveza. Fecha de consulta; 15 de Enero del 2020. Disponible en <https://www.forbes.com.mx/mexico-cuarto-productor-mundial-de-cerveza/>
- Rama, R., M., Tara R., & Krishnan C. 1974. Colorimetric Estimation of Tryptophan Content of Pulses. *Journal Food Science and Technology* 11, 213–16.

- Ramírez-Nava J., Murcia C., & Castro V. 2014. “Análisis de Aceptación y Preferencia Del Manja Blanco Del Valle.” *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 12(1), 20–27.
- Ranganna, S. 1977. *Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products*. Ed. Tata McGraw- Hill. Nem Delhi.
- Rayas-Duarte, P., Mock, C. M., & Satterlee, L. D. (1996). Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours. *Cereal Chemistry*, 73(3), 3
- Repo, R., & Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), KAÑIWA (*Chenopodium pallidicaule*) y KIWICHA (*Amaranthus caudatus*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 74(2), 85–99.
- Roa, A., & Fernando, D. (2015). *Métodos de molienda seca y húmeda en molino planetario para la obtención y caracterización de fracciones de amaranto y su aplicación como agente encapsulante*. Tesis Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Rodas, B., & Bressani, R. (2009). Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 5.
- Roman, L., Gomez, M., Li, C., Hamaker, B. R., & Martinez, M. M. (2017). Biophysical features of cereal endosperm that decrease starch digestibility. *Carbohydrate Polymers*, 165, 180–188.
- SAGARPA. 2017. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Trigo Grano Cristalino y Harinero. *Planeación agrícola nacional 2017- 2030*: 28 https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sicoTrigo_Cristalino_y_Harinero.pdf

SAGARPA. (2019). *Presentan productores Plan para el Desarrollo Sustentable del Amaranto*. Ciudad de México.

Salazar, J. C., Jiménez-Vera, V., & Martínez-Manrique, 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 de Alimentos*. Colima, México.

Samaras, T. S., Camburn, P. A., Chandra, S. X., Gordon, M. H., & Ames, J. M. (2005). Antioxidant properties of kilned and roasted malts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 8068–8074

Sarmiento, L. A. (2006). Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación. *Orinoquia*, 10(1), 16–23.

Savón, L., & Scull, I. (2006). Avances en los métodos para disminuir el efecto de factores antinutricionales en alimentos para especies monogástricas. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 13(1).

Secretaria de Salud (2016). ¿Cuánta fibra dietética se debe consumir? Fecha de consulta: 11 de Enero del 2020. Disponible <https://www.gob.mx/salud/articulos/cuanta-fibra-dietetica-se-debe-consumir>

Seghezzo M., & Molfese E. 2006. *Calidad En Trigo Pan*. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

Sepúlveda, & Torres A. 2012. “El Cultivo Del Trigo.” *Temas de Orientación Agropecuaria (SAGARPA)*. 1: 10.
<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BAC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mnfn=014718>.

Serna, S. R. (1996). *Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales*. México: A.G.T.

SIAP. 2019. Boletín Mensual de Producción Trigo. 2019. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/486771/Boletin_avance_de_produccion_trigo_julio_2019.pdf.

Sicard, D., & Legras, J.-L. (2011). Bread, beer and wine: Yeast domestication in the *Saccharomyces sensu stricto* complex. *Comptes Rendus Biologies*, 334(3), 229–236.

Slavin, J. L. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21(3), 411–418.

Solah V., Fenton H., & Crosbie G. 2015. Wheat: Grain Structure of Wheat and Wheat-Based Products. *Encyclopedia of Food and Health*, 1ST ed. 470–77.

Stewart G. 2003. Beer. Biochemistry of Fermentation. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (1995), 434–40.

Stewart G. (2016). Beer: Raw Materials and Wort Production. In *Encyclopedia of Food and Health*, 1st ed., 355–363. Elsevier Ltd.

Stojceska, V. (2011). Dietary Fiber from Brewer's Spent Grain as a Functional Ingredient in Bread Making Technology. In *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (pp. 171–181). Elsevier Inc

Suárez S., Aphalo P., Rinaldi G., Añón M., & Quiroga, A. (2020). Effect of amaranth protein on the RAS system. *In vitro, in vivo and ex vivo* assays. *Food Chemistry*, 30

Tamsen, M., Shekarchizadeh, H., & Soltanizadeh, N. (2018). Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties. *LWT - Food Science and Technology*, 91, 580–587.

- Uthayakumaran, S, & Wrigley, C. 2010. Wheat: Characteristics and Quality Requirements. In *Cereal Grains Assessing and Managing*, eds. CW Wrigley and IL Batey. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 59–11.
- Utrilla, R. G. (2012). *Desarrollo de galletas con bajo contenido de carbohidratos digeribles a partir de cereales integrales y plátano en estado inmaduro*. Tesis de doctorado. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional.
- Valadez, M., Delgado, E. O., Carballo, M. L. C., Fucikovsky, A., & Leopoldo, Z. (1990). Flavonoids of bean seed coat as inhibitors of two phytopathogen bacteria. *Agrociencia*, 2,75–91.
- Villanueva-Flores R. 2014. El Gluten Del Trigo y Su Rol En La Industria de La Panificación. *Ingeniería Industrial* 0(032), 231.
- Yáñez, E., Zacarías, I., Granger, D., Vásquez, M., & Estévez, A. M. (1994). Caracterización química y nutricional del amaranto (*Amaranthus cruentus*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 44(1), 57–62.
- Zarnkow, M. 2014. Beer. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 1,209–15.

Anexo 2. Resultados de la prueba de preferencia

Prueba sensorial de preferencia											
Juez	4050	3555	7020	Juez	4050	3555	7020	Juez	4050	3555	7020
1	1	2	3	31	3	1	2	61	1	2	3
2	2	3	1	32	2	3	1	62	1	3	2
3	1	2	3	33	2	3	1	63	3	1	2
4	2	3	1	34	1	3	2	64	2	1	3
5	2	3	1	35	3	1	2	65	3	2	1
6	3	2	1	36	1	2	3	66	3	2	1
7	1	3	2	37	3	1	2	67	2	3	1
8	3	1	2	38	3	2	1	68	3	1	2
9	1	2	3	39	2	3	1	69	1	3	2
10	1	3	2	40	3	2	1	70	1	2	3
11	1	3	2	41	2	3	1	71	1	3	2
12	2	3	1	42	3	2	1	72	2	3	1
13	2	3	1	43	1	3	2	73	3	2	1
14	1	3	2	44	3	2	1	74	1	3	2
15	1	2	3	45	1	2	3	75	3	1	2
16	2	3	1	46	3	2	1	76	3	2	1
17	1	3	2	47	3	2	1	77	2	3	1
18	1	3	2	48	1	3	2	78	3	1	2
19	3	2	1	49	2	3	1	79	3	2	1
20	3	2	1	50	2	1	3	80	3	2	1
21	3	2	1	51	1	2	3	81	3	2	1
22	2	3	1	52	3	1	2	82	3	2	1
23	3	2	1	53	1	3	2	83	3	2	1
24	2	3	1	54	3	1	2	84	2	3	1
25	1	3	2	55	3	2	1	85	2	3	1
26	1	3	2	56	2	3	1	86	1	3	2
27	3	2	1	57	1	2	3	87	2	3	1
28	3	2	1	58	1	3	2	88	1	3	2
29	1	2	3	59	1	2	3	89	3	1	2
30	3	2	1	60	2	1	3	90	2	3	1

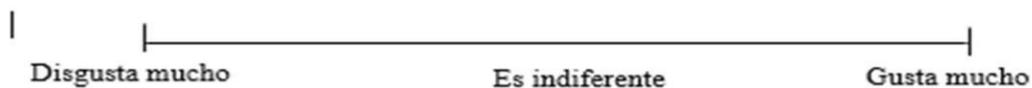
Anexo 3. Prueba de nivel de agrado

PRUEBA SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO

Edad: _____ Sexo: H M Fecha: _____

INSTRUCCIONES: Tome agua antes de iniciar la prueba. Pruebe la muestra de baguette que se le presenta a continuación y sobre la línea indique con una “X” su nivel de agrado hacia el producto. En el espacio de abajo explique por qué tomó esa decisión.

Escala



¿Por qué? _____

Anexo 4. Resultados de la prueba de nivel de agrado.

Prueba sensorial de nivel de agrado							
Juez	Calificación	Juez	Calificación	Juez	Calificación	Juez	Calificación
100	10	75	8.5	50	7	25	5
99	10	74	8.5	49	6.8	24	5
98	10	73	8.3	48	6.8	23	5
97	10	72	8.2	47	6.8	22	5
96	10	71	8.2	46	6.8	21	5
95	10	70	8	45	6.7	20	5
94	10	69	8	44	6.6	19	5
93	10	68	8	43	6.6	18	5
92	10	67	8	42	6.6	17	5
91	10	66	7.9	41	6.6	16	5
90	10	65	7.8	40	6.6	15	5
89	10	64	7.7	39	6.5	14	5
88	10	63	7.7	38	6.5	13	5
87	10	62	7.5	37	6.4	12	5
86	10	61	7.5	36	6.4	11	5
85	10	60	7.4	35	6.4	10	5
84	9.3	59	7.4	34	6.4	9	5
83	9.1	58	7.4	33	6.3	8	5
82	9	57	7.3	32	6.3	7	5
81	9	56	7.2	31	6.2	6	5
80	8.8	55	7.2	30	5.9	5	4.3
79	8.8	54	7.1	29	5.8	4	4.1
78	8.7	53	7.1	28	5	3	4.1
77	8.7	52	7.1	27	5	2	4
76	8.7	51	7	26	5	1	3.6