



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

Elaboración de donas horneadas con adición de harina de
amaranto y arándano

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

CORRAL ESCOBEDO ELIZABETH

ASESORES

I.A Fuentes Romero Miriam Edith

Dr. Jiménez Ambriz Sergio

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2020



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 EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
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 donas horneadas con adición de harina de amaranto y arándano.

Que presenta la pasante: **Elizabeth Corral Escobedo**

Con número de cuenta: **414109661** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería 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 27 de Enero de 2020.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. María de Carmen Valderrama Bravo</u>	
VOCAL	<u>I.A. Miriam Alvarez Velasco</u>	
SECRETARIO	<u>I.A. Miriam Edith Fuentes Romero</u>	
1er. SUPLENTE	<u>M. en C. Sandra Margarita Rueda Enriquez</u>	
2do. SUPLENTE	<u>I.A. Virginia López García</u>	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

El presente proyecto se realizó con apoyo de los proyectos de investigación PIAPI 2055 y PAPIIT IT-202119 en la Unidad de Investigación de Granos y Semillas (UNIGRAS) y el Laboratorio Experimental Multidisciplinario LEM I de la FES-Cuautitlán.

Agradecimientos

Gracias papá porque recuerdo que la última vez que nos despedimos me dijiste muchas cosas que yo después las convertí en misiones y promesas, y por fin puedo cumplir esa promesa que te hice de esforzarme en la escuela para poder entrar a la universidad y convertirme en la una profesional, a pesar de que ya no te tengo a mi lado siempre seguirás en mi corazón y en mi mente espero que te sientas orgulloso de mi estés donde estés te extraño mucho.

Gracias mamá que siempre has sido como mi ángel de la guarda, mi hada madrina me enseñaste que siempre van a existir personas que creen en ti, que una madre no es la que te engendra si no la persona que te apoya, que a pesar de todo siempre va a estar a tu lado, que es esa luz en medio de la oscuridad y sabes que sin tu ayuda y tu amor no hubiera llegado hasta aquí que todo lo soy te lo debó a ti, con tu ejemplo me has enseñado a ser una exenté persona, a perdonar, a ser una mujer guerra, una mujer fuerte, trabajadora, te admiro porque cada que te caes te has levantado, porque creaste una familia maravillosa y tu corazón es tan grande que tuviste un cachito para mi muchas gracias te amo. "Tus brazos siempre se abren cuando necesito un abrazo. Tu corazón sabe comprender cuándo necesito una amiga. Tus ojos sensibles se endurecen cuando necesito una lección. Tu fuerza y tu amor me han dirigido por la vida y me han dado las alas que necesitaba"

A ti Caro mi hermana mayor por siempre cuidarme, apoyarme, escucharme, aconsejarme y regañarme, siempre has sido mi mayor ejemplo porque eres una persona guerrera, una mujer muy fuerte, elegante, inteligente eres una persona que siempre ha cumplido sus metas y sueños, a pesar de que la vida te ha puesto pruebas muy difíciles sobre todo dolorosas que hacen que caigas siempre encuentras fuerzas para levantarte y aunque no pueda o no sepa cómo ayudarte siempre estaré a tu lado. Algún día quiero llegar a ser, aunque sea la mitad de lo que tú eres, quisiera tener esa fuerza, amor propio y confianza que tú tienes porque cada que caes te levantas aún más fuerte y valiente con esa elegancia que te caracteriza porque "La flor que crece en la adversidad es la más hermosa de todas"

A mis primos francisco Monroy, Eduardo Monroy y Luis f. Monroy por siempre cuidarme, por ser mis hermanos y mis padres cuando lo necesite, gracias por apoyarme, por los regaños, por confiar en mí y gracias por el ejemplo que me han dado con las familias tan hermosas que han formado.

Agradezco a la universidad nacional autónoma de México, por darme la oportunidad de ser parte de la máxima casa de estudios y darme las herramientas necesarias para desarrollarme como ingeniera en alimentos.

Agradezco a la I.A Edith Fuentes por ser mi asesora en este proyecto y por apoyar y creer en mi desde el principio, gracias por todo su apoyo en mi evolución académica y profesional por ser una gran inspiración desde la primera clase que tome, siempre me enseñó que el camino que me esperaba era largo y difícil pero que a pesar de eso nunca dejó que me rindiera y me ayudó a encontrar ese amor en la carrera.

Agradezco al Dr. Sergio Jiménez Ambriz por ser mi coasesor en este proyecto por su apoyo y conocimientos en cereales, gracias por proporcionar las instalaciones de la unidad de investigación de granos y semillas.

Agradezco a mis sinodales Dra. María del Carmen Valderrama, I.A Miriam Álvarez Velazco, I.A Miriam Edith Fuentes Romero, M. en C. Sandra Margarita Rueda Enríquez, I.A Virginia López García por sus aportaciones a este proyecto.

Agradezco a mis amigos Alejandro Garrido, Jorge Lozano, Saúl León, Uriel García, Fernando Vélez, Laura Montañó por su apoyo en todos estos años ya que ustedes se convirtieron en una segunda familia, gracias porque a pesar de todo siempre me escucharon y me aconsejaron, gracias por todos esos momentos felices y por nunca dejarme sola, aunque los haya olvidado un poco.

Dedicatorias

A mi Mamá Felicitas Escobedo por tu apoyo y comprensión en estos años, gracias cobijarme cuando más lo necesitaba ya que sin tu amor y tu confianza este sueño no hubiese sido posible.

A mi Papa Francisco Monroy porque a pesar de que ya no estas a mi lado siempre me inculcaste a esforzarse por los sueños y tenía la deuda de ser una profesional como me lo dijiste la última vez que te ví.

A mi familia por siempre apoyarme, por cuidarme por su ejemplo de nunca darse por vencidos y de siempre luchar por salir adelante, porque me han demostrado que cuando la vida se torna difícil lo mejor es estar alado de las personas correctas.

A Francisco Monroy Nava, Damián Monroy Escobedo y Noe Rojas Escobedo porque a pesar de ya estar, son los que me impulsan a seguir todos los días.

Índice

	<i>Página</i>
Índice.....	<i>i</i>
Índice de Cuadros.....	<i>iii</i>
Índice de Figuras.....	<i>iv</i>
RESUMEN	<i>v</i>
INTRODUCCIÓN	<i>vii</i>
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	<i>1</i>
1.1 Panificación	<i>1</i>
1.1.1 Historia	<i>1</i>
1.1.2 Sistemas de elaboración	<i>2</i>
1.1.3 Clasificación	<i>2</i>
1.2 Donas	<i>3</i>
1.2.1 Clasificación	<i>4</i>
1.2.2 Formulación	<i>5</i>
1.2.3 Funcionalidad de ingredientes	<i>5</i>
1.2.4 Proceso de elaboración de Donas	<i>9</i>
1.3 Trigo.....	<i>12</i>
1.3.1 Composición química del trigo.	<i>14</i>
1.3.2 Clasificación	<i>16</i>
1.3.3 Harina de trigo	<i>16</i>
1.4 Amaranto	<i>18</i>
1.4.1 Origen	<i>18</i>
1.4.2 Características	<i>19</i>
1.4.3 Composición química	<i>21</i>
1.5 Arándano.....	<i>24</i>
1.5.1 Variedades	<i>24</i>
1.5.2 Propiedades	<i>25</i>
1.6 Propiedades Mecánicas.....	<i>27</i>

1.6.1	Reología	28
1.6.2	Pruebas dinámicas	29
1.6.3	Reología de Masas	31
1.6.4	Influencia del Proceso en la Reología de las Masas	32
1.6.5	Mezclado	33
1.6.6	Propiedades texturales.	33
1.6.7	Análisis de perfiles de textura TPA	34
2	CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	37
2.1	Objetivos	37
2.2	Materia Prima	37
2.3	Elaboración de donas	38
2.3.1	Descripción de diagrama de proceso.	39
2.4	Métodos de Evaluación	43
2.4.1	Prueba reológica.	43
2.4.2	Análisis de perfil de textura	45
2.4.3	Tamaño de alveolos	46
2.4.4	Volumen específico por desplazamiento de semillas.	47
2.4.5	Prueba Hedónica	48
2.4.6	Determinación de antioxidante como capacidad de eliminación de DPPH	50
3	CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
3.1	Prueba Reológica	52
3.1.1	Barrido de esfuerzo para determinar la zona de viscoelasticidad lineal	52
3.1.2	Barrido de frecuencia para determinación de espectro mecánico	52
3.2	Análisis de perfil de textura (TPA)	55
3.3	Volumen específico	62
3.4	Propiedades organolépticas	64
3.5	Capacidad antioxidante	68
4	Conclusiones	69
	Recomendaciones	70
	Referencias	71

Índice de Cuadros

	página
<i>Cuadro 1.1 Formulación de donas</i> _____	5
<i>Cuadro 1.2 Composición Química de los Cereales.</i> _____	16
<i>Cuadro 1.3 Composición química del amaranto</i> _____	22
<i>Cuadro 1.4 Contenido de aminoácidos de la proteína de amaranto (mg de aminoácidos / g de proteína)</i> __	22
<i>Cuadro 1.5 Composición del arándano)</i> _____	25
<i>Cuadro 1.6 Velocidades y tipo de deformación características de las masas durante el procesamiento</i> ____	33
<i>Cuadro 1.7 Definiciones según la norma UNE 87001-94 para los parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura TPA</i> _____	36
<i>Cuadro 2.1 Materia prima utilizada</i> _____	38
<i>Cuadro 2.2 Formulación para donas</i> _____	38
<i>Cuadro 2.3 Diseño experimental y codificación</i> _____	42
<i>Cuadro 3.1 Parámetros reológicos de Modulo elástico (G') y Modulo Viscoso (G'') en diferentes proporciones de harina de amaranto y harina de trigo en masa para donas</i> _____	53
<i>Cuadro 3.2 Parámetros texturales diferentes concentraciones de harina de trigo y harina de amaranto en donas</i> _____	56
<i>Cuadro 3.3 Volumen específico a diferentes proporciones de harina de amaranto y harina de trigo en donas horneadas.</i> _____	62
<i>Cuadro 3.4 Capacidad antioxidante en donas.</i> _____	68

Figura 1.1 Formación de gluten	6
Figura 1.2 Diagrama de flujo de elaboración de donas.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 1.3 Cariópside del trigo	14
Figura 1.4 Grano de amaranto	20
Figura 1.5 Respuesta típica a un barrido de deformación mostrando la región viscoelástica lineal	30
Figura 1.6 Modelo mecánico para el comportamiento reológico de la masa	31
Figura 1.7 Curva ideal de un análisis de perfil de textura TPA .	34
Figura 2.1 Primera fermentación de masa para donas.	39
Figura 2.2 Cortador para donas	40
Figura 2.3 Fermentación final de donas.	40
Figura 2.4 Enfriado de donas.	40
Figura 2.5 Diagrama de proceso para la elaboración de donas	41
Figura 2.6 Prueba mecánica en masa para donas	43
Figura 2.7 Reómetro Haake	44
Figura 2.8 Gráfica de espectro mecánico	44
Figura 2.9 Grafica representativa del Análisis de Perfil de textura.	46
Figura 2.10 Determinación de volumen	47
Figura 2.11 Determinación de volumen	48
Figura 2.12 Papeleta para prueba hedónica	49
Figura 2.13 Gráfica radial	50
Figura 3.1 Parámetros reológicos de Módulo elástico (G') y Módulo Viscoso (G'') en diferentes proporciones de harina de amaranto y harina de trigo en masa para donas.	54
Figura 3.2 Barrido de frecuencia módulo elástico Y módulo viscoso G'' en masa para donas en diferentes concentraciones de harina de amaranto.	55
Figura 3.3 Efecto de la adición de harina de amaranto en la a) dureza, b) cohesividad, c) índice de elasticidad en donas y d) masticabilidad	58
Figura 3.4 Estructura de la miga en donas con y sin adición de harina de amaranto	59
Figura 3.5 Efecto de la proporción de harina de amaranto en el perfil de textura.	60
Figura 3.6 Análisis de perfil de textura de los tratamientos HT1.00HA0AR0, HT.925HA.075AR.08, HT.9HA.1AR0.75 Y HT.855HA.15AR.65	61
Figura 3.7 Efecto de la adición de amaranto en el volumen específico.	63
Figura 3.8 Donas horneadas con adición de harina de amaranto	64
Figura 3.9 Evaluación de propiedades organolépticas de dona	65
Figura 3.10 Parámetros organolépticos a) me gusta mucho, b)me gusta y c)me disgusta mucho.	67

RESUMEN

La Procuraduría Federal del Consumidor (2017), llevó a cabo una encuesta en el 2017 en la Ciudad de México con el título “Hábitos de consumo de pan de dulce de harina de trigo”. Los datos obtenidos reflejaron que la dona se encuentra dentro de los 10 panes favoritos para el consumo como pan recién hecho y el primer lugar en preferencia en pan empaquetado.

Los beneficios para la salud de los pseudocereales son bien conocidos, y uno de los más importantes es el amaranto (*Amaranthus* spp.), que es una planta nativa que se encuentra en América del Sur y Central, con la excepción de algunas especies que pertenecen a regiones tropicales y subtropicales de la India, como *Amaranthus spinosus* (Reguera y Haros, 2017). Desde un punto de vista nutricional, los pseudocereales se consideran mejores que los cereales como el trigo, la cebada o el arroz debido a su contenido; composición de almidón, aceite, fibra dietética, vitaminas (A, K, B 6, C, E y B); minerales como calcio, magnesio, fósforo, hierro, potasio, zinc, cobre y manganeso (Álvarez *et al*,2010; Reguera y Haros, 2017). El arándano es un potente antioxidante, contiene el 95 % de las vitaminas que el organismo necesita y el 99 % de los minerales para el organismo (Martin, 2017). Por lo cual, el presente trabajo está dirigido a estudiar el efecto de la proporción de harina de amaranto y arándanos deshidratados en la elaboración de donas horneadas a base de harina de trigo determinando las propiedades reológicas de la masa y las características texturales y físicas del producto terminado que reúna las características de calidad que el consumidor demanda.

Se analizó el efecto de la proporción de harina de amaranto y arándanos en las propiedades reológicas de la masa mediante pruebas dinámicas con un reómetro de placa-placa marca Haake modelo RT20, utilizando como dispositivo una placa circular rugosa PP35.

Se midió el efecto de la proporción de harina de amaranto y arándano mediante pruebas de análisis de perfil de textura, las cuales se llevaron a cabo utilizando un texturómetro Brokfield CT3. Se realizó un análisis organoléptico para obtener el tratamiento de mayor agrado para el consumidor; una vez obtenido el tratamiento se realizó la prueba de capacidad antioxidante como capacidad de eliminación de DPPH.

La adición de harina de amaranto en donas tiene un efecto en las propiedades mecánicas y en las propiedades reológicas disminuyendo el módulo elástico y viscoso conforme aumenta la proporción de harina de amaranto (0.10-0.15), pero la adición de amaranto en proporciones pequeñas (0.05-0.077) interviene con la red de gluten, impidiendo que ésta se forme correctamente incrementando las propiedades viscoelásticas de la masa para donas.

Tomando en cuenta el tratamiento seleccionado “como mejor” a través del análisis organoléptico HT.9HA.1AR.075 se puede observar que los valores de textura de ese tratamiento son los intermedios; Dureza 901gf , Cohesividad 0.64, Índice de elasticidad 0.8533 y Masticabilidad 14.50mJ y con un Volumen Específico menor que los demás tratamientos con un valor de 4.739mL/g que se encuentra dentro de los valores reportados en otras investigaciones de pan adicionado con harina de amaranto; a pesar de estas características el consumidor lo aceptaría para su consumo ya que es un producto innovador.

INTRODUCCIÓN

Los altos índices de obesidad y de baja calidad alimenticia han traído como consecuencia que no sólo los adultos, sino los más jóvenes, busquen nuevas alternativas de una alimentación saludable. Esta es la razón por la que cada vez son más los que buscan consumir alimentos nutritivos y balanceados que reemplacen los productos con alto contenido de grasas (Marky *et al*, 2015).

Las donas son uno de los alimentos para el desayuno más populares en Estados Unidos, pero su consumo no es exclusivo para esta comida del día, de hecho, pueden consumirse en cualquier momento del día ya que se considera un “snack”. Su popularidad no es exclusiva para este país, pues las donas gozan de un reconocimiento mundial impulsado por las cadenas internacionales que se encargan de su promoción y comercialización, tales como: Dunkin’ Donuts, Krispy Kreme Doughnuts, entre otras (Nueva York, 2014).

El concepto de alimento funcional cada vez es más difundido en la población. Se considera así a todo alimento que contiene uno o más ingredientes que aportan algún beneficio comprobable para la salud. En los últimos años los alimentos funcionales han adquirido un lugar muy importante dentro de la demanda de los consumidores. El aumento del consumo se incrementó como resultado de campañas saludables (Conde,2014).

Los beneficios para la salud de los pseudocereales son bien conocidos, y uno de los más importantes es el amaranto (*Amaranthus* spp.), que es una planta nativa que se encuentra en América del Sur y América Central, con la excepción de algunas especies que pertenecen a regiones tropicales y subtropicales de la India, como *Amaranthus spinosus* (Reguera y Haros, 2017) . Desde un punto de vista nutricional, los pseudocereales se consideran mejores que los cereales como el trigo, la cebada o el arroz debido a su contenido / composición de almidón, aceite, fibra dietética, vitaminas (A, K, B 6, C, E y B), minerales como calcio, magnesio, fósforo, hierro, potasio, zinc, cobre y manganeso (Álvarez *et al*,2010 ; Reguera y Haros, 2017).

Para mejorar el comportamiento reológico, el amaranto crudo y reventado se ha incorporado con éxito a las formulaciones sin gluten y para la sustitución parcial o total de la harina de trigo de las masas mixtas por panes, pastas y galletas .Además, la adición de

amaranto a la masa de harina de trigo podría mejorar las propiedades nutricionales del producto suplementado, debido a su excelente calidad nutricional: proteínas, lípidos de alta calidad y mayor contenido de minerales y fibra dietética que los granos de cereales (Caselato y Amaya, 2012).

La Procuraduría Federal del Consumidor (2017), llevó a cabo una encuesta en el 2017 en la Ciudad de México con el título “Hábitos de consumo de pan de dulce de harina de trigo”. Los datos obtenidos reflejaron que la dona se encuentra dentro de los 10 panes favoritos para el consumo como pan recién hecho y el primer lugar en preferencia en pan empaquetado.

El arándano es un potente antioxidante, contiene el 95 % de las vitaminas que el organismo necesita y el 99 % de los minerales para el organismo (Martin, 2017).

El arándano rojo es muy rico en vitamina C y polifenoles antioxidantes. Gracias a su composición, tiene una alta acción bactericida tanto a nivel digestivo (desde la boca hasta el estómago), así como una alta protección contra las infecciones urinarias. Es un potente antioxidante, pues evita el envejecimiento prematuro de la piel, ayuda a combatir los radicales libres y, por lo tanto, también influye positivamente en la salud cardiovascular (protege los vasos sanguíneos y ayuda a mantener niveles adecuados de colesterol en sangre) (Martin, 2017).

De acuerdo a lo realizado por Montero *et al*, (2015) el pan con amaranto presentó las mejores características visuales y la mejor composición nutricional, especialmente proteínas, lípidos y minerales; además, esto se vio potenciado por su alta digestibilidad. La utilización de harina de amaranto constituye una alternativa viable para mejorar el valor nutricional de los productos de panificación y para ser utilizado como coadyuvante en los regímenes dietéticos hipocalóricos e isocalóricos.

Por lo cual el presente trabajo está dirigido a estudiar el efecto de la proporción de harina de amaranto y arándanos en la elaboración de donas horneadas a base de harina de trigo determinando las propiedades reológicas de la masa y las características texturales y físicas del producto terminado que reúna las características de calidad que el consumidor demanda.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1 Panificación

1.1.1 Historia

El pan constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años (Bourgeois y Larpent, 1995). Al principio era una pasta plana, no fermentada, elaborada con una masa de granos machacados groseramente y cocida, muy probablemente sobre piedras planas calientes. Parece que fue en Egipto donde apareció el primer pan fermentado, cuando se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire y aumentaba su volumen, y que, añadida a la masa de harina nueva, daba un pan más ligero y de mejor gusto. Existen inscripciones egipcias (3000 años A.C.) sobre la fabricación de pan y cerveza, que sugieren que fue en la civilización egipcia donde se utilizaron por primera vez los métodos bioquímicos de elaboración de estos alimentos fermentados (Aleixandre, 1996). Los galos, después de Plinio, utilizaron la espuma de la cerveza para elaborar pan. Esta técnica fue olvidada y redescubierta en el siglo XVII convirtiéndose en práctica habitual en Europa hasta 1800 (Fellows, 1993; Bourgeois y Larpent, 1995). En el siglo XIX las levaduras de las cervecerías fueron remplazadas por las procedentes de las destilerías de alcohol de cereales. A finales del siglo XIX, a raíz de los trabajos de Pasteur, se desarrolla una industria específica para la producción de levaduras que culmina en 1920 con un moderno método de producción de levaduras de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*), inventado por el danés Soren Sak y denominado «Método Zero» ya que evita la producción de etanol (Bourgeois y Larpent, 1995). Durante los siglos XIX y XX los oficios familiares dan paso a la construcción de fábricas que incrementan la capacidad de producción de alimentos básicos, entre ellos el pan y los productos de panadería, llegándose en nuestros días a dos tendencias hasta cierto punto contrapuestas. Por un lado, los cambios en el estilo de vida y la difusión de los congeladores y de los hornos microondas han conllevado un aumento de la demanda de alimentos (entre ellos el pan) de más cómoda preparación y adecuados para su almacenamiento en congeladores. Por otro lado, existe también una cierta demanda de alimentos lo más parecidos posible al alimento tradicional (Aleixandre y García, 1999). Estas dos tendencias han tenido una repercusión importante en la panificación moderna.

1.1.2 Sistemas de elaboración

Existen tres sistemas generales de elaboración de pan que vienen determinados principalmente por el tipo de levadura utilizada (Tejero,1995; Callejo, 2002) y son:

- **Directo:** Es el menos frecuente para la elaboración de donas y se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Requiere un tiempo de reposo de la masa de unos 45 minutos antes de la división de la misma.
- **Mixto:** Es el sistema más frecuente en la elaboración de pan común. Utiliza simultáneamente masa madre (levadura natural) y levadura comercial. Requiere un reposo previo a la división de la masa de sólo 10–20 minutos.
- **Esponja** o «poolish»: es el sistema universalmente empleado en la elaboración de pan francés y sobre todo en la de pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 – 40% del total de la harina, la totalidad de la levadura (comercial) y tantos litros de agua como kilos de harina. Se deja reposar unas horas, se incorpora el resto de la harina y del agua y a partir de ahí se procede como en el método directo.

1.1.3 Clasificación

De acuerdo a la NMX- F-521-1992, los productos de panificación, se clasifican de acuerdo a su composición en:

- **TIPO I: Pan Blanco**
Producto que resulta de hornear una masa obtenida de harina fermentada por acción de leudante, agua y sal, acondicionadores y mejoradores de masa, adicionado o no de aceites y grasas comestibles, leche, otros ingredientes y aditivos para alimentos, por ejemplo, el bolillo y telera.
- **TIPO II: Pan de Harinas Integrales**
Producto que resulta de la panificación de la masa fermentada, por la acción de leudante, preparada con harina de trigo, harinas de cereales integrales o de leguminosas, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos por ejemplo el pan de caja.
- **TIPO III: Pan Productos de Bollería**

Productos que son cocidos por horneado de la masa fermentada preparada con harina de trigo, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, leudante, aditivos para alimentos e ingredientes opcionales por ejemplo las madalenas, cupcakes, rollo de canela.

- **TIPO IV: Pan Dulce**

Producto de panificación constituido por harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites comestibles o aceites hidrogenados, levaduras, adicionada o no de aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus presentaciones, sal y leche; amasado, fermentado, moldeado y cocido al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles, por ejemplo, conchas, moños, cuernitos, donas, donas horneadas entre otros (NOM-147-SSA1-1996)

1.2 Donas

Una dona es un pan dulce, generalmente frito, de forma circular con un agujero en el centro que puede estar cubierto por algún tipo de glaseado, o relleno con alguna especie de chocolate, mermelada o crema (Marky *et al*, 2015).

El término “dona” (o también utilizado “dónut”), proviene del vocablo inglés “doughnut”, el cual se deriva de las palabras “dough”, que significa masa y, “nut”, que significa nuez. Con estas lexías se hace alusión a los panecillos que no se cocían por completo y necesitaban otros ingredientes en el centro, generalmente nueces, para mejorar su sabor. En los siglos siguientes de “doughnut” evolucionó a “donut” (en inglés), que es el término que se utiliza ahora (Sites México, 2013).

El origen de la dona no está bien definido, sin embargo, algunos historiadores afirman que tiene su origen en Holanda, donde la madre de un marinero llamado Hanson Regory le preparó un panecillo similar a una dona, pero sin el agujero característico. Este panecillo se freía en manteca de cerdo, pero había un inconveniente, a veces no llegaba a cocinarse al 100% porque debía ser retirado antes de que la parte externa se quemara, quedando principalmente crudo, el centro. Por ello se le agregaba frutas o nueces para disimular la falta de cocción y tuviera así un mejor sabor (Guerrero, s.f). Las donas llegaron a Estados Unidos con los inmigrantes holandeses en esa presentación: panecillos sin agujero y

rellenos de frutas o nueces. Esta presentación cambió cuando Hanson Gregory –en 1847– tuvo la idea de hacerle un agujero en el centro a los panecillos para probar si así se freían mejor y se resolvía el problema de la falta de cocción. Al ver que se cocinaban completamente, decidió dejar los panecillos con el agujero en el centro, obteniendo la forma de las donas como se conocen ahora (Magic Donut,s.f.).

1.2.1 Clasificación

Los tipos de donas existentes son abundantes. Por ejemplo, para tener una idea de la variedad, Dunkin' Donuts ofrece cerca de 130 donas diferentes y Krispy Kreme Doughnuts, alrededor de 60. Sin embargo, se puede clasificar en función a algunos criterios:

- **Según su forma de preparación**

- Donas fritas: Como su nombre lo refleja, son aquellas que para su cocción se sumergen en aceite caliente. En la producción industrial de donas ya se ha determinado un tiempo fijo de permanencia en las freidoras, de tal forma que se logre una cocción completa y el dorado deseado. En la producción artesanal, la permanencia en la freidora estará en función del color de la superficie de la dona, siendo retiradas por el operador antes de que la superficie se queme.

- Donas horneadas: Son aquellas que se introducen en un horno a una determinada temperatura y durante un tiempo específico para lograr una cocción perfecta (Marky *et al*, 2015).

- **Según su presentación**

- Donas glaseadas: Son aquellas que, como su nombre lo menciona, están recubiertas por diferentes tipos de glaseados, los cuales pueden ser de diversos colores y sabores. Algunas donas son cubiertas en su totalidad por azúcar y otras, le añaden chispas de colores o trozos de frutos secos encima del glaseado. Este tipo de donas tiene la forma tradicional, es decir, presenta el agujero característico en el centro. Aunque, existen algunas que no cuentan con él, debido a que se necesita que tengan una forma maciza para realizar sobre ellas alguna clase de decorado especial.

- Donas rellenas: Son las donas rellenas de algún tipo de mermelada, chocolate o crema generalmente, además de estar rellenas en el interior, también son glaseadas o decoradas en su cubierta. Este tipo de donas no cuenta con el agujero en el centro, debido a que el relleno se dificulta con esta forma. Los tipos de donas que pueden existir son prácticamente ilimitados, pues cada día surgen nuevas recetas y formas gracias a la creatividad de las personas y a la influencia de la cultura de cada uno de los países en los que se comercializan las donas (Marky *et al*, 2015).

1.2.2 Formulación

En el Cuadro 1.1 se muestra los ingredientes necesarios que se requieren para la elaboración de donas, de acuerdo a Noelia (2018).

Se puede observar que el mayor porcentaje lo constituye la harina de trigo (47.049%) ya que es el ingrediente principal debido a que es el que contiene gliadina y gluteninas las cuales van a formar el gluten.

Cuadro 1.1 Formulación de donas (Noelia,2018).

Ingrediente	%
Harina De Trigo	47.049
Azúcar	8.554
Sal	0.086
Agua	20.530
Levadura Fresca	0.941
Margarina	4.705
Huevo	18.135
Total	100

1.2.3 Funcionalidad de ingredientes

- **Harina de trigo**

Las proteínas de la gliadina que se encuentran en la harina son responsables del volumen potencial del pan y en cambio las gluteninas regulan el tiempo de amasado ya que las cadenas de glutenina establecen entre sí múltiples enlaces y forman una red compacta y extensa. En los extremos de las cadenas de glutenina hay aminoácidos con azufre que pueden formar enlaces fuertes entre sí, pero para esto hacen falta el oxígeno por lo que una justa proporción de ambas nos dan las condiciones ideales para la harina dedicada a

la panificación. Como se muestra en la Figura 1.1, en la que puede destacarse como un predominio de gliadinas o de gluteninas alterarían el producto final, esto es el gluten. La molécula del gluten da tenacidad a la masa debido a la amplitud de su superficie y su capacidad de asociación molecular (Quaglia,1991).

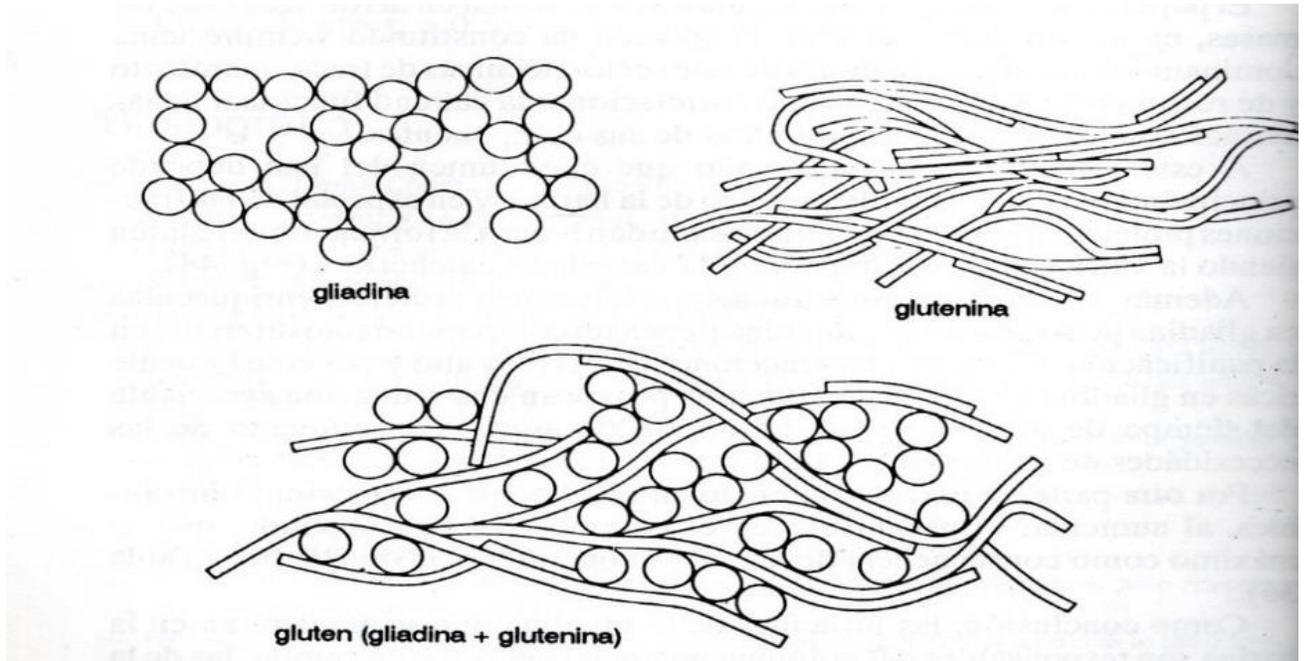


Figura 1.1 Formación de gluten (Quaglia,1991)

- **Azúcar**

La sacarosa comúnmente se extrae de la caña de azúcar y es la más utilizada para la producción de pan. La adición de azúcar puede ser en forma cristalina o líquida. Cuando es añadida en forma sólida, una parte o toda se disuelve en el agua durante el mezclado. A 25 °C, 65 g de sacarosa se disuelve en 100 g de agua y la solubilidad incrementa a altas temperaturas (Barrozo,2017).

Tiene una importancia relevante ya que la levadura debe de tener a su disposición la glucosa y fructosa para producir CO_2 , que sirve para aumentar el volumen de la masa. El CO_2 se forma en la fermentación, primero se disuelve en el agua hasta la saturación, luego permanece libre, reteniendo el gluten y hace crecer la masa. También se producen en la fermentación, ácidos, sustancias volátiles, alcoholes que confieren el aroma y sabor al producto, además de esto para las levaduras, tiene efecto sobre la propiedad de la

absorción, sobre el tiempo de desarrollo de la masa y sobre las características organolépticas del producto. Como el color de la dona se debe a la reacción de entre los azúcares y los aminoácidos (reacción de Maillard) y a la caramelización de los azúcares por el color según el tipo y cantidad de los azúcares utilizados se obtiene un color moreno más o menos intenso. Asegura también una mejor conservación del producto ya que permite una mejor retención de la humedad, manteniendo más tiempo su suavidad inicial y retrasando el proceso de endurecimiento. La azúcar añadida en cantidad normal tiene un efecto muy limitado sobre la absorción de la masa: sin embargo, a medida que aumenta la cantidad de azúcar adicionada, el tiempo de amasado es más largo. Este factor es especialmente importante cuando se hacen masas dulces con 20-25% de azúcar. En tal caso, si la masa no se mezcla durante un tiempo suficiente, el producto final se caracterizará por un volumen pequeño, miga seca y escaso sabor y poca vida de anaquel (Quaglia,1991).

- **Sal**

Es añadida para fortalecer el gluten y convertir la acción de la levadura para controlar la expansión de la masa debido a la levadura (Mondal y Datta, 2008). La función básica de la sal en la masa para pan, es ayudar a mejorar el sabor; muy poca cantidad de sal hace que se tenga muy poco sabor en el producto final y mucha sal provee un sabor muy salado (Cauvain *et al*, 2001). Principalmente actúa sobre la formación del gluten ya que la gliadina, tiene mayor solubilidad en el agua con sal, lo que da lugar en una masa obtenida con agua salada a la formación de una mayor cantidad de gluten. Cuando se adiciona sal dosificada según el tipo de harina aumenta la compactación de las masas haciéndoles más fáciles de trabajar, como consecuencia de esto también es posible una mejor hidratación de las masas, sin que se vuelvan pegajosas, por sus propiedades antisépticas actúa también durante la fermentación, retardando especialmente las fermentaciones secundarias de los microorganismos productores de ácidos tales como ácido acético, butírico y láctico y disminuye el desarrollo de CO_2 debido a su capacidad para absorber agua (Quaglia,1991).

- **Agua**

Las propiedades de la masa pueden ser afectadas por la cantidad de agua utilizada, si se agrega muy poca agua, la masa será muy firme y difícil de trabajar con ella y se obtendrán

panes de tamaño pequeño y una apariencia no muy atractiva, en cambio al agregar una gran cantidad de agua, la masa será muy suave y difícil de moldear, ya que la masa será muy fluida y como resultado será un pan de calidad baja (Cauvain et al, 2001). Aproximadamente el 46% del agua presente en la masa se asocia con el almidón, el 31% con la proteína y el 23% con gomas. La absorción del agua de una harina de trigo es regida por el contenido y la calidad de la proteína y por el grado de daño que tenga el almidón (mientras mayor es el daño, mayor es la absorción). Al agregar el agua durante el mezclado de la masa, se asegura la distribución adecuada de todos los ingredientes para que el desarrollo de la masa sea el mejor (Pomeranz, 1991).

- **Grasa Vegetal**

Se añade para mejorar la manejabilidad de la masa y es utilizada para incrementar la retención de gas, el volumen y la suavidad del pan (Mondal y Datta, 2008). Al aumentar la cantidad de grasa en la formulación el tamaño del pan puede aumentar hasta el punto en el cual si se sigue aumentando ya no será significativo el crecimiento. La cantidad puede variar dependiendo del tipo de harina que es utilizada, con harinas integrales se requiere de 2 a 3 veces más la cantidad de grasa (Cauvain *et al.*, 2001). Cuando la harina y el agua se mezclan, se obtiene una masa con características plásticas: las partículas de almidón finamente subdivididas son encapsuladas por una matriz proteica, llamada gluten. Si a la masa se le añade grasa se forma una suave capa entre las partículas de almidón y la red de gluten, y después se transforma la superficie hidrófila de las proteínas en una superficie más lipófila, esto confiere a la miga una estructura fina y homogénea ya que el gluten, al tener la posibilidad de elongarse sin romperse, retiene las burbujas de gas evitando que se unan formando burbujas más gruesas (Quaglia,1991).

- **Levadura**

Este ingrediente está formado por organismos vivos microscópicos, hongos con capacidad para fermentar (Diario de Gastronomía, 2017); la levadura de panadería o levadura de panadero es como se suele llamar a las cepas de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) comercializadas para hacer pan y productos de panadería. En la fermentación es donde los azúcares y fermentables presentes en la masa (procedentes del almidón) se convierten

en dióxido de carbono (CO_2) y etanol produciendo el levado del pan. La levadura panadera sólo metaboliza almidones y azúcares y no afecta a las proteínas como el gluten (Casañ, 2016).

La principal función es la producción de CO_2 para expandir la masa durante el proceso de elaboración, hasta los primeros momentos del horneado (Cauvain *et al*, 2001). La cantidad de levadura utilizada tiene una relación inversa a la duración de la fermentación, largos periodos de fermentación generalmente utilizan cantidades menores de levadura. La utilización del 1% de levadura lleva a un tiempo de fermentación de 3 h, mientras el 2-3% de levadura no necesita tiempo de fermentación. La actividad de la levadura incrementa dependiendo de la temperatura a la que se encuentre la masa. Además de la producción de dióxido de carbono para el incremento de volumen de la dona, atribuye sabor y color al producto final (Kent y Evers, 1994).

Las amilasas, enzimas presentes en el grano de trigo que pasan a la harina, entran en los gránulos de almidón dañados intencionadamente durante la molienda, cortando las cadenas de almidón, liberando moléculas de glucosa y de maltosa (dos moléculas de glucosa unidas), que, en las condiciones de la masa de pan, las levaduras transforman en dióxido de carbono, alcohol y diversas moléculas aromáticas. Para que se produzca el crecimiento de la masa, es necesario que la masa pueda retener el dióxido de carbono, para lo que es imprescindible la formación del gluten. Dos tipos de proteínas, las gluteninas y las gliadinas, al añadir agua a la harina, van formando una malla que es capaz de retener el CO_2 generado por la levadura, proceso favorecido por el trabajo mecánico del amasado. Así se forma la estructura de la miga, que se va enriqueciendo en aromas y sabores a lo largo de la fermentación de la masa (Diario de Gastronomía, 2017).

1.2.4 Proceso de elaboración de Donas

En la figura 1.2 se muestra el diagrama de proceso para elaboración de donas horneadas realizado de acuerdo a Noelia (2018).

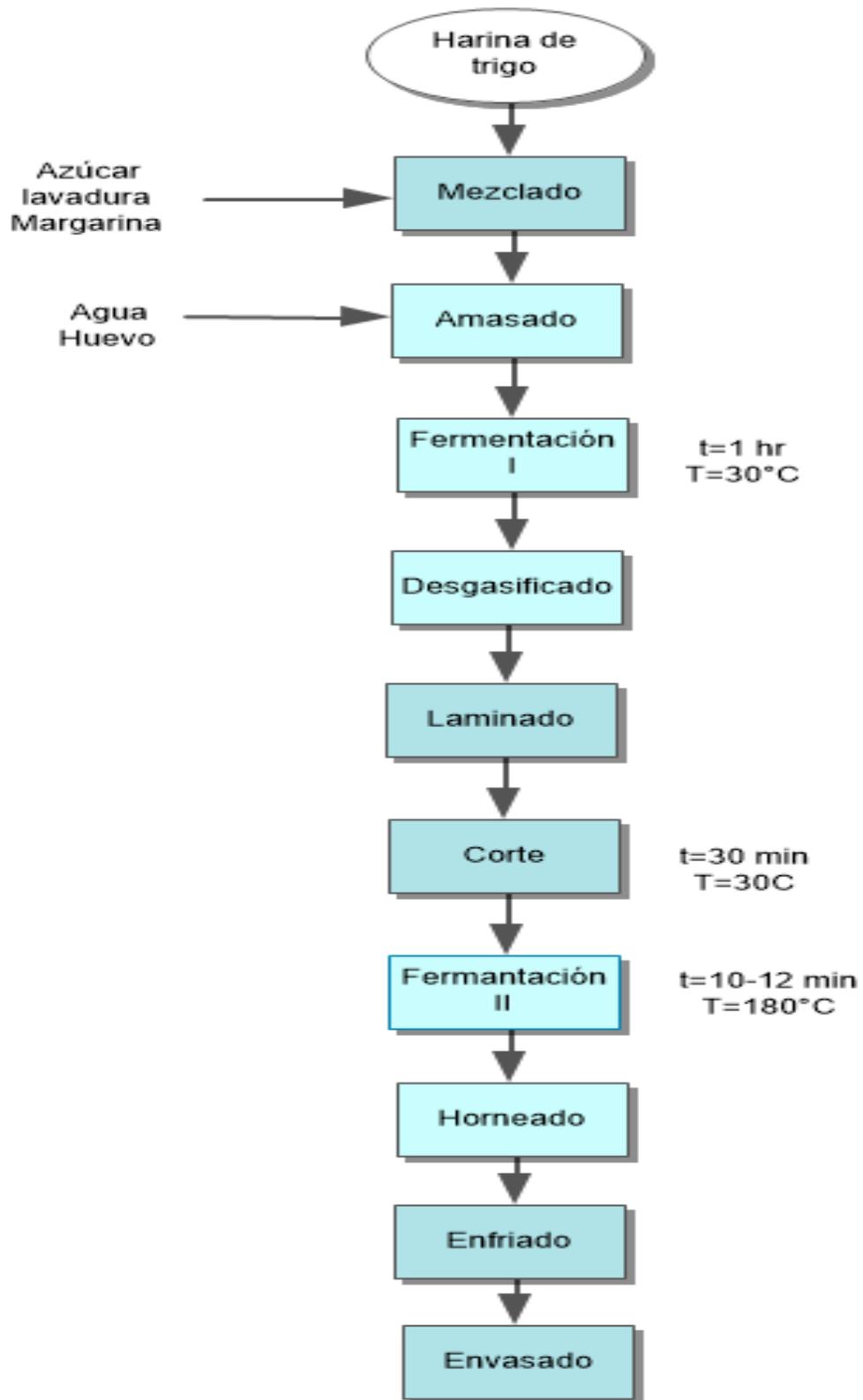


Figura 1.2 Diagrama de flujo de elaboración de donas. (Noelia, 2018).

- **Mezclado**

El objetivo es la incorporación de los ingredientes secos como son la harina, azúcar levadura y margarina para tener hacer más fácil el amasado,

- **Amasado**

Su objetivo es la incorporación de ingredientes y conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, la formación de gluten lo cual va a desarrollar las características de la masa como su elasticidad, flexibilidad, así como su perfecta oxigenación. El amasado se realiza en máquinas denominadas amasadoras, que constan de una artesa móvil donde se colocan los ingredientes y de un elemento amasador cuyo diseño determina en cierto modo los distintos tipos de amasadoras, siendo las de brazos de movimientos variados (sistema Artofex) y las espirales (brazo único en forma de «rabo de cerdo») las más comúnmente utilizadas en la actualidad. El amasado se realiza a una temperatura de 25°C comenzando con una velocidad baja para incorporar los ingredientes ya homogenizados, se aumenta la velocidad para formar el gluten y se detiene al conseguir las características plástica (Mesas y Alegre, 2002).

- **Fermentación I**

Esta etapa se lleva a cabo en condiciones anaerobias a una temperatura de 25-30°C y 75% de humedad durante 60 min. El objetivo de la fermentación es la formación de CO_2 para que al ser retenido por la masa ésta se esponje, y mejorar el sabor del pan como consecuencia de las transformaciones que sufren los componentes de la harina como el almidón al hidrolizarse en glucosa. En un sentido amplio la fermentación se produce durante todo el tiempo que transcurre desde que se han mezclado todos los ingredientes (amasado) hasta que la masa ya dentro del horno alcanza unos 50 °C en su interior. En la práctica se habla de varias fases o etapas:

- La fermentación correspondiente a la elaboración de la masa madre o de la esponja en los métodos indirectos.

- La fermentación en masa, es el lapso de reposo que se da a la masa desde que finaliza el amasado hasta que la masa se divide en piezas. Es una etapa larga en la panificación francesa y en algunas elaboraciones españolas como la chapata gallega, pero es muy corta

o inexistente en las elaboraciones mecanizadas del pan común español (Mesas y Alegre, 2002).

- **Desgasificado**

Transcurrido el tiempo de fermentación, se amasa nuevamente para llevar acabo la desgasificación que sirve para remover el gas atrapado y crear nuevos espacios en la masa.

- **Laminado y corte**

Terminado el proceso de desgasificado se lamina con ayuda de un rodillo hasta que tenga 1 cm de grosor, se procede a cortar con un cortador para dona; una vez obtenida la pieza procede al reposo y fermentación final (Noelia, 2018).

- **La fermentación II o fermentación en piezas**

Esta fase suele realizarse en cámaras de fermentación climatizadas a 30 °C y 75% de humedad durante 30 a 60 minutos, aunque los tres parámetros pueden variar según las necesidades del panadero se realiza con la finalidad de formar nuevos espacios de CO_2 ya con la forma de la dona (Mesas y Alegre, 2002).

- **Cocción.**

Su objetivo es la transformación de la masa fermentada en pan, en el proceso se evapora el etanol producido en la fermentación, evaporación del 10% del agua contenida en la masa, desnaturalización de proteínas, transformación del almidón en dextrinas y azúcares menores, desactivación de levadura, se lleva acaba la reacción de Maillard. La cocción se realiza en hornos a temperaturas que van desde los 180°C a los 260 °C. Tras la cocción y enfriamiento la dona está lista para su consumo (Mesas y Alegre, 2002).

1.3 Trigo

La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *Triticum*, que significa ‘quebrado’, ‘triturado’ o ‘trillado’, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. El trigo, es uno de los tres granos más cultivados mundialmente, junto al maíz y el arroz, y el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad (Martínez y Jiménez, 2013).

La cariósida del trigo es de una estructura notablemente compleja, con la forma de una nuez alargada, una única semilla de 6 a 8 mm de largo y de 3 a 4 mm de ancho; presenta longitudinalmente un hundimiento y en la parte opuesta del embrión una barbilla o pincel como se observa en la Figura 1.3. La cariósida está constituida por varias partes. El salvado (pericarpio, espermodermo, capa celular, capa aleurónica) representa de 7.8-8.6%, endospermo (almidón y proteínas) del 87-89 % y por último el embrión o germen (aceite, proteínas) del 2.8% -3.5% (Quaglia,1991).

- **Pericarpio**

El pericarpio constituye la envoltura externa del fruto, del que representa en peso del 3-4%. Está formado por varias capas de células y precisamente el pericarpio es la más externa y está compuesta por tres estratos de células que reciben el nombre de intermedia, cruzada y tubular situadas en orden debajo del epicarpio, es decir que mientras este mismo es el más externo, la capa de células tubulares es la más interna del pericarpio (Quaglia,1991).

- **Espermodermo**

Es una envoltura que sirve para proteger a la propia semilla esto muy importante ya que de su eficiencia depende la defensa del embrión, así como del endospermo. Está constituida por gran parte por sustancias de materia celulósica y de sales. La celulosa no tiene ningún valor alimenticio para el hombre ya que es incapaz de transformarlo en sustancias más simples, pero es útil al organismo porque activa los movimientos peristálticos del intestino (Quaglia,1991).

- **Endospermo**

En los efectos de la alimentación, es la parte más importante de la cariósida ya que las células aleurónicas constituyen una región del grano particularmente rica en proteínas, grasas, sustancias minerales, vitaminas y enzimas, por lo que tiene un valor alimenticio muy elevado.

El endospermo amiláceo llamado también parénquima almidón- glutínico, forma la mayor parte del grano del 80-85%. Los granos de almidón son muy pequeños en las células más externas y más grandes en los interiores (Quaglia,1991).

- **Embrión**

Esta colocado en la base de la semilla, en la parte opuesta a la barbilla y constituye el aparato germinativo del grano; puede ser considerado como una plantita miniatura completa

todas sus partes, prontas a desarrollarse apenas se produzcan las condiciones apropiadas. El germen representa cerca de 2.5% esta parte normalmente es eliminada usualmente durante la molienda porque contiene grasas que limitan la conservación de la harina (Quaglia,1991).

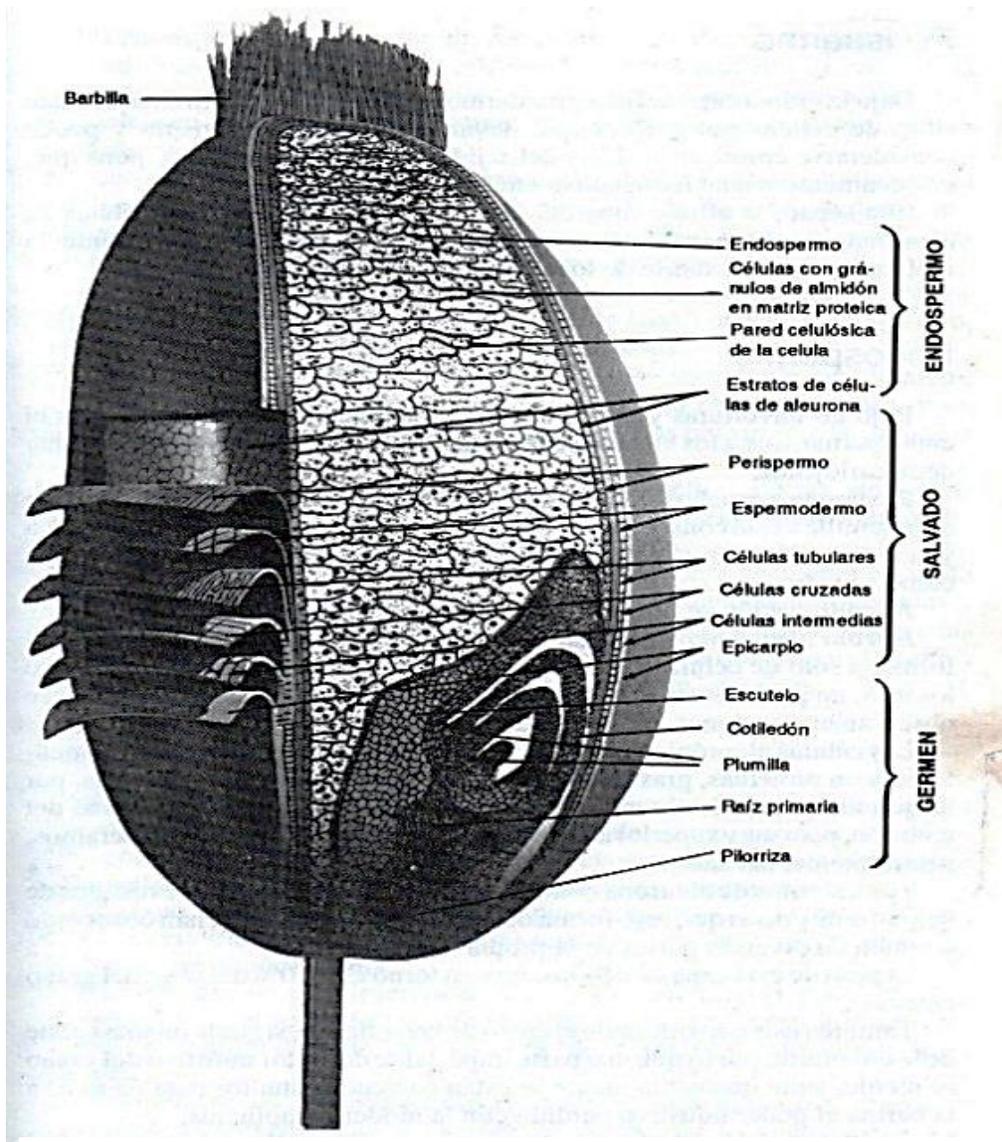


Figura 1.3 Cariósida del trigo (Quaglia, 1991).

1.3.1 Composición química del trigo.

Los granos constituyen parte fundamental de la alimentación humana, provee sustancias indispensables para nuestra vida como son los carbohidratos, las grasas, las vitaminas y los minerales.

La cariósida madura de los cereales está compuesta de carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos y sales minerales. Las diferentes partes de los granos tienen composición química y bioquímica diferente. El pericarpio es rico en minerales y carbohidratos.

Estos granos son clasificados como alimentos almidonados puesto que todos ellos contienen más del 60% de almidón, totalmente digestibles en el sistema humano. Los polímeros de almidón, conformados por unidades de glucosa, hacen que los cereales se consideren como los principales aportadores de calorías o energía. El segundo grupo de compuestos más abundantes en el grano es el de las proteínas localizadas en sus distintas partes anatómicas. Casi todos los cereales contienen de 8 a 16% de proteína.

La cantidad y calidad de los nutrientes difieren los distintos géneros y especies de los cereales y afecta las propiedades nutritivas, culinarias y funcionales. El genotipo y condiciones ambientales durante el crecimiento y la maduración afectan la composición química de los granos.

El endospermo contiene básicamente almidón y proteínas; mientras que el embrión está conformado por grasas, proteínas y vitaminas. La composición nutricional de los cereales, varía de acuerdo a los diferentes factores como la variedad, el estado de sanidad y el manejo previo que haya tenido el grano. La sustancia nutritiva que se encuentra en la mayor cantidad en los cereales es el almidón, componente básico de la parte más grande del grano que es el endospermo.

En la Cuadro 1.2 se presenta la composición química proximal de los cereales. La avena, arroz y la cebada se caracterizan por su alto contenido de fibra debido a que son granos recubiertos. En proporción contienen menos almidón que los cereales desnudos el maíz, sorgo, centeno, trigo y triticale contienen un alto porcentaje de almidón (alrededor de un 75%) y un contenido proteico que fluctúa del 8 al 14%. Los cereales con más cantidad de aceite son el mijo perla, el maíz y el sorgo ya que poseen un germen mayor que los otros cereales (Martínez y Jiménez, 2013).

Cuadro 1.2 Composición Química de los Cereales (Martínez y Jiménez, 2013).

Cereal	Humedad (%)	Proteína (%)	CHOS (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)
Trigo	12.5	12.0	68.0	1.8	2.2	1.7
Maíz	13.0	9.9	69.2	4.4	2.2	1.3
Cabada	14.5	10.0	66.5	1.5	4.5	2.6
Arroz	11.4	8.3	64.7	1.8	8.8	5.0
Avena	13.5	10.3	58.2	4.8	10.3	3.1
Centeno	10.0	12.4	71.1	1.3	2.3	2.0
Sorgo	11.0	11.0	73.3	3.3	1.7	1.7

1.3.2 Clasificación

Actualmente se vienen cultivando cerca de diez especies de género *Triticum*, pero solo dos de estas presenta interés desde el punto de vista comercial.

El *Triticum durum*: La molienda de su grano produce una fracción llamada sémola que contiene proteínas llamadas gliadinas y gluteninas que en su conjunto forman el gluten, el cual facilita la elaboración de panes de levadura de baja calidad, pero su mayor utilidad es para la producción de macarrones y pastas (SAGARPA, 2016).

El *Triticum aestivum*: La molienda de su grano produce una fracción llamada sémola que contiene proteínas llamadas gliadinas y gluteninas que en su conjunto forman el gluten, en la industria de la panificación se emplea para la preparación de pan, galletas pasteles, sobre todo con las variedades de grano duro, suave y blando (SAGARPA, 2016).

1.3.3 Harina de trigo

Clasificación de la harina

La harina es generalmente clasificada en función de su contenido en gluten y según la fuerza que posee. La fuerza de la harina se representa con una **W**, es el índice de capacidad panificable utilizado para clasificar las harinas en base a su fuerza (Salas, 2016).

Un alto valor de **W** indica un alto contenido de gluten: esto significa que la harina absorberá más agua y la masa fermentará más lentamente, porque la red de gluten será más resistente y tenaz. En cambio, un bajo valor de **W** indica un bajo contenido de gluten: la harina absorberá poca agua y fermentará más rápidamente, porque la red de gluten

permitirá a los gases liberarse con mayor facilidad, y la masa resultará más liviana y menos consistente (Salas, 2016).

- **Harina floja:** Este tipo de harina contiene un bajo contenido en gluten, contiene en su composición como máximo un 8 ó 9%. Su fuerza es representada con un valor de 100 **W** aproximadamente. Debido a la baja presencia de gluten, esta harina no esponja mucho la masa durante la fermentación, por lo que no es recomendada para la panificación, ya que el pan podría quedar apelmazado y secarse más rápidamente. La harina floja es la más indicada para elaboraciones cuya masa no requiere de mucho trabajo, galletas, bizcochos, pastas de té, entre otros.
- **Harina de media fuerza:** Este tipo de harina se encuentra entre la harina de fuerza y la harina floja atendiendo a su contenido de gluten, con un valor entre 100 y 200 **W**. Se utiliza principalmente para masas de hojaldre y similares.
- **Harina de fuerza:** Esta harina posee un elevado contenido en gluten, lo cual facilita que la masa pueda fermentar reteniendo el gas generado durante la fermentación en burbujas. Es obtenida de trigos duros o especiales, necesitando un tipo específico de molienda. La fuerza de esta se representa con un valor **W** = 200/300. Ya que la harina de fuerza puede absorber una cantidad alta de agua, esta permite obtener unos panes y productos fermentados más tiernos y de duración más prolongada, ya que tardan menos en secarse. Se usa principalmente para masas fermentadas, entre ellas el pan, la bollería, donas (Salas, 2016).

La harina con cualidades panificables requiere de las siguientes características:

- ✓ Propiedades de retención de gas: los niveles de actividad de la amilasa y del almidón dañado deben ser adecuados para producir suficientes azúcares, para soportar la actividad de las enzimas de la levadura durante la etapa de fermentación.
- ✓ Contenido de humedad: que no sea mayor al 14% para que se pueda almacenar de manera segura, obtener un color adecuado y cumpla con las especificaciones en cuanto al blanqueo y tratamiento (Kent y Evers, 1994).

La cantidad de proteína contenida en la harina debe ser adecuada para que al ser hidratada se forme una red de gluten resistente, obteniendo una buena elasticidad, fuerza y estabilidad en la masa formada.

El 85% de las proteínas son gliadinas y gluteninas, proteínas insolubles que en conjunto reciben el nombre de gluten debido a su capacidad para aglutinarse cuando se mezcla con agua dando una red o malla que recibe igualmente el nombre de gluten. Esta propiedad que poseen las proteínas del trigo y que es la que hace panificables las harinas de trigo y la que proporciona las características plásticas de la masa de pan (Calvel, 1983; Eliasson y Larsson, 1993; Calaveras, 1996).

1.4 Amaranto

El amaranto es el producto de origen vegetal más completo. Es una de las fuentes más importante de proteínas, minerales y vitaminas naturales: A, B, C, B1, B2, B3, además de ácido fólico, niacina, calcio, hierro y fósforo. Es uno de los alimentos con alta presencia de aminoácidos como la lisina (AMA, 2009).

En investigaciones realizadas por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos en 1975, para conocer los recursos vegetales poco explotados, pero con gran potencial demostró que el amaranto es uno de los 36 cultivos más prometedores del mundo, por esta razón la misma Academia lo describió como "El mejor alimento de origen vegetal para consumo humano".

Los análisis bromatológicos o nutricionales de la variedad Alegría presentan un contenido de proteína entre 15 y 18%, 5 a 9% de fibra, de 4 a 7% de grasa, 60 a 62% de carbohidratos y minerales como calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, sodio, manganeso y zinc (Peralta *et al*, 2008).

1.4.1 Origen

La palabra amaranto significa inmarcesible, que no se marchita; y viene del griego, de (*sin*) y (*marchitar*, palidecer). Los indígenas llamaban *huautli* al amaranto o *huauquilitl*, y los conquistadores lo denominaron bleado (Hernández y Herreras, 1998).

Un texto del siglo XVI describe: "Se encuentran en esta Nueva España muchas especies de armuelle silvestre que los mexicanos acostumbran llamar en general *hoauhtli* y siembran y cultivan con gran esmero en sus huertos y jardines...". Un método muy original de los antiguos mexicanos, y que se conserva hasta la fecha como práctica cotidiana en la zona de Xochimilco, es el cultivo por medio de chinampas sobre el lago. Este fue el sistema más productivo de Mesoamérica por su elevada capacidad para soportar una producción

agrícola intensiva debido a las condiciones de humedad del suelo blando y a la abundante fertilización orgánica de la chinampa (Hernández y Herrerias,1998).

Tanta importancia tuvo el amaranto en la vida de los antiguos mexicanos, que estuvo vinculado con infinidad de celebraciones y ritos religiosos. Nuestros antepasados veneraban al maíz como fuente esencial de la vida, a tal grado que los historiadores han llegado a llamar a los aztecas el pueblo del maíz (Hernández y Herrerias,1998).

Pero el amaranto ocupaba en los rituales religiosos el lugar más destacado: era el cuerpo de sus dioses. Las mujeres preparaban una pasta de amaranto amasado y con ella elaboraban sofisticadas imágenes de sus principales dioses, las cuales eran comidas por el pueblo como culminación del ritual sagrado, en una comunión religiosa llamada *Teocualo* que significa "comer a los dioses" (Hernández y Herrerias,1998).

Los conquistadores prohibieron la siembra del amaranto, imponiendo fuertes castigos a quien lo cultivara y a quien simplemente lo poseyera, razón por la que casi desapareció de Mesoamérica, conservándose solamente en unas cuantas regiones (Hernández y Herrerias,1998).

A partir de 1980 se inició en la región de Tehuacán un proceso de búsqueda de alternativas de desarrollo para la población rural de zonas marginadas semiáridas, impulsado por la Central de Servicios para el Desarrollo de Tehuacán, A. C. Se descubrió en el cultivo del amaranto una prometedora veta de beneficios potenciales para los campesinos de esta región tan desfavorecida. Esta búsqueda recibió un fuerte impulso de parte de Alternativas y Procesos de Participación Social a partir de 1983, iniciando un proyecto de investigación y desarrollo denominado Presente y futuro del amaranto Su recuperación en Tehuacán El amaranto como alternativa agrícola, económica y nutricional en tierras de temporal en zonas semiáridas (Hernández y Herrerias,1998).

1.4.2 Características

Los granos de amaranto son un complemento nutricional óptimo y "balanceado" en comparación con los cereales convencionales. Por estas características, desde 1979 la Academia de Ciencias de los Estados Unidos de Norte América (NAS,1975) por sus siglas en inglés) y la Organización para la Alimentación y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) consideran al amaranto, como uno de los cultivos en el mundo con un elevado

potencial para su explotación económica y nutricional a gran escala (Konishi y Yoshimoto,1989). Así mismo, lo calificaron como uno de los mejores alimentos de origen vegetal para consumo humano. También el amaranto fue seleccionado por la NASA para alimentar a los astronautas por su alto valor nutritivo, por su aprovechamiento integral, por la brevedad de su ciclo de cultivo y por su capacidad de crecer en condiciones adversas. Por todo ello, fue calificado como un cultivo CELSS (Controlled Ecological Life Support System: la planta remueve el dióxido de carbono de la atmósfera y, al mismo tiempo, genera alimentos, oxígeno y agua para los astronautas), o sea un sistema de apoyo para la vida con control ecológico (Asociación mexicana de amaranto, 2003).

El grano de amaranto (Figura 1.4), es considerado como un pseudocereal, debido a sus características y propiedades semejantes a la de los cereales (Becker, 1989; Breene, 1991;Tosi *et al*, 2001; Marcílio *et al*, 2003). Su principal componente es el almidón, que representa entre el 50 % y el 66 % de su peso (Becker, 1989; Breene, 1991; Tosi *et al*, 2001; Escudero *et al*, 2004); con características especiales. El diámetro del granulo oscila entre 0,8 a 2,5 μm con forma esférica ò poligonal (López *et al*, 1994).

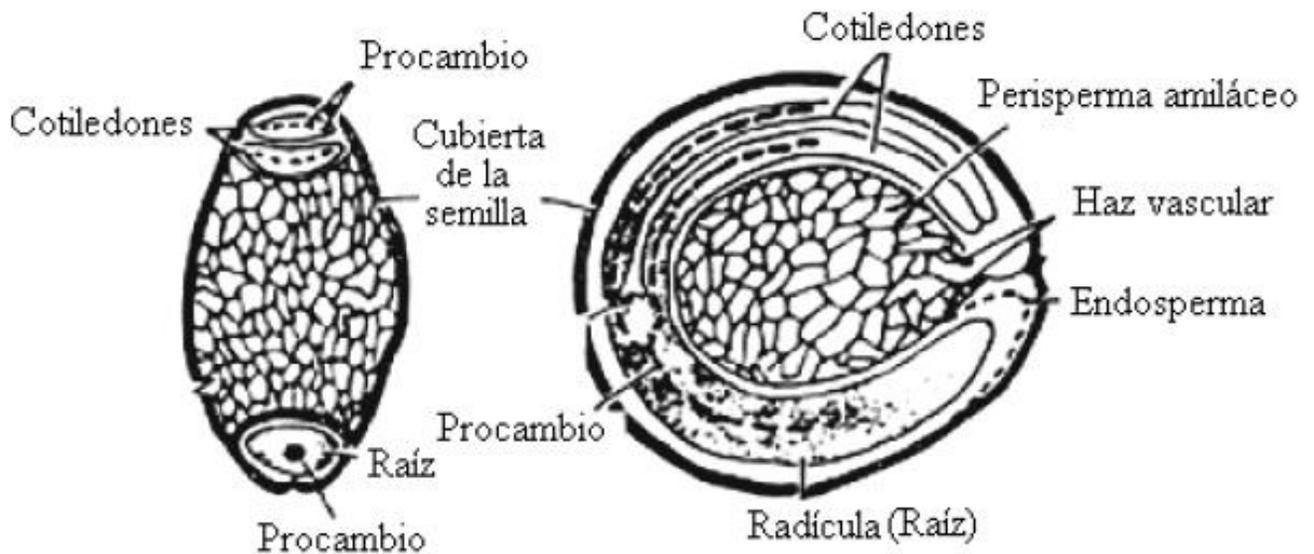


Figura 1.4 Grano de amaranto (Castel,2010)

El amaranto puede consumirse casi desde la siembra, en forma de germinado, de hojas tiernas en ensalada, o molidas para servirse en forma de sopa. Su digestibilidad es muy alta, alcanzando entre el 80 y el 92%. Puede aportar alimento a la familia a todo lo largo del ciclo de cultivo por su abundante producción de hojas, que son ricas en vitaminas, proteínas y minerales, entre los que destaca el hierro, además del calcio y el fósforo. La hoja de amaranto tiene más hierro que la espinaca, lo que la hace ideal para evitar la anemia que afecta principalmente a mujeres embarazadas y a niños. Además de consumirse fresca, la hoja puede deshidratarse y molerse para conservarla en forma de polvo. Después de la cosecha, el grano puede emplearse como cereal, tostado y molido para hacer harina y gran cantidad de derivados. Con los talluelos de las hojas se puede elaborar papel de textura artística que merece un precio elevado. El forraje obtenido es un excelente alimento para rumiantes. Con todos estos usos se ve con claridad que la planta se aprovecha íntegramente (Hernández y Hererías, 1998).

Una característica importante de las proteínas de amaranto es que han sido utilizadas en dietas para personas con la enfermedad celíaca. Esta dolencia es caracterizada por una sensibilidad a las fracciones de prolaminas de los cereales, particularmente hipersensibilidad a las gliadinas del trigo. El contenido de prolamina en las proteínas de amaranto es menor al 0,01 % en algunas especies, y estas prolaminas son distintas a las de los cereales TACC (trigo, avena, cebada y centeno) lo que torna al amaranto con un gran potencial para la producción de alimentos para celíacos (Becker, 1989).

1.4.3 Composición química

En el Cuadro 1.3 se observa que el amaranto posee un alto contenido proteico, aproximadamente 17%. La semilla de amaranto compite bien con variedades convencionales de trigo que contiene de 12 a 14% de proteína, con el arroz que contiene de 7 a 10%, con el maíz que contiene de 9 a 10% de proteínas y con otros cereales de gran consumo. Además, el Amaranto posee abundante lisina, aminoácido esencial que está en baja proporción en los demás cereales. El amaranto tiene el doble de lisina que el trigo, el triple que el maíz, y tanta lisina como la que se encuentra en la leche.

Cuadro 1.3 Composición química del amaranto (FAO/ OMS/OUN, 1985)

Composición por 100 gramos de porción	
Proteína (g)	12 – 19
Carbohidratos (g)	71,8
Lípidos (g)	6,1 - 8,1
Fibra (g)	3,5 - 5,0
Cenizas (g)	3,0 - 3,3
Energía (kcal)	391
Calcio (mg)	130 – 164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1,5

El cómputo aminoacídico es de 86% en *A. hypochondriacus*, en el Cuadro 1.4 se puede apreciar el alto valor biológico de su proteína comparándola con los cálculos químicos de la proteína del trigo (73%) y soya (74%), mientras que las proteínas de origen animal no tienen aminoácidos limitantes. Lo que destaca de la proteína del amaranto es su alto contenido en lisina comparado con otros cereales, lo que permite una excelente complementación aminoacídica con las proteínas de maíz, arroz y trigo (FAO/OMS/UNU, 1985).

Cuadro 1.4 Contenido de aminoácidos de la proteína de amaranto (mg de aminoácidos / g de proteína) (FAO/ OMS/OUN, 1985).

Aminoácidos	<i>A. hypochondriacus</i>
Isoleucina	39
Leucina	57
Lisina	55
metionina + cistina	47
fenilalanina + tirosina	73
Treonina	36
Valina	45
Histidina	25
cómputo aminoacídico	86

La proteína del amaranto se encuentra principalmente en el embrión (65%) a diferencia de otros cereales como maíz, arroz y soya que presentan sobre el 80% de la proteína en el endospermo (Bressani, 1989).

La tendencia actual hacia el desarrollo de alimentos funcionales ha ganado terreno nivel mundial, especialmente en los productos de panadería, los cuales han sido complementados con diferentes sustancias nutritivas y protectoras que permiten disminuir la incidencia de diversos tipos de patologías asociadas con los alimentos (Montero, 2015).

En los últimos años las investigaciones persiguen mejorar el valor nutritivo del pan de trigo con ingredientes funcionales; por tanto, se está promoviendo el uso de cereales y pseudocereales en grano y harinas integrales, así como la adición de mezclas de diferentes semillas, frutos secos y/o de productos con un elevado aporte de fibra dietética (Bodroza *et al*, 2008; Sanz *et al*, 2010).

De acuerdo a lo realizado por Montero *et al* (2015) el pan con 10% de amaranto presentó las mejores características visuales y la mejor composición nutricional especialmente por el contenido de proteínas, lípidos y minerales. Además, esto se vio potenciado por su alta digestibilidad. La utilización de harina de amaranto constituye una alternativa viable para mejorar el valor nutricional de los productos de panificación y para ser utilizada como coadyuvante en los regímenes dietéticos hipocalóricos e isocalórico.

De acuerdo a Dyner *et al* (2007). El contenido de proteína y minerales de la harina integral de amaranto (HIA) fue significativamente superior (20% más proteínas y 370% más minerales) a la harina de trigo (HT). La harina integral de amaranto con la que se elaboraron los panes y fideos contuvo 18 veces más hierro, 11 veces más calcio y 3,5 veces más zinc que la harina de trigo utilizada con ese mismo fin.

En la mezcla de harina con un reemplazo del 20% de la harina de trigo (HT) por HIA se incrementó el contenido de proteína en un 6%. Se obtuvo también un incremento significativo en cuanto al contenido global de minerales con respecto a la HT, se logró un aumento del 310% en el hierro, 160% en el calcio y un 66% en el zinc.

Los panes elaborados con 80:20 (HT:HIA) aportaron, en comparación con el pan 100% trigo, 4% más de proteína. Se incrementó significativamente el aporte de minerales y el de fibra dietaría total. Si bien es recomendable incorporar fibra en la dieta para una adecuada alimentación (por sus efectos protectores a nivel intestinal y para un mejor manejo de los pacientes con diabetes o con hipercolesterolemia), en ella también se incluyen ácido fítico que disminuyen la biodisponibilidad de minerales esenciales como hierro, calcio y

zinc. En los panes 80:20 (HT:HIA) se logró incrementar el contenido de hierro 260%, el de calcio 160% y el de zinc 80%, con respecto al pan 100% trigo (Dyner *et al*, 2007).

1.5 Arándano

El arándano es una baya que crece del pequeño arbusto homónimo de la familia de las Ericáceas del género *Vaccinium*, que alcanza de 25 a 50 centímetros de altura. Este género está formado por una docena de plantas que producen bayas de color oscuro, azuladas o rojizas, ricas en antocianos, pigmentos vegetales que les confieren su color característico.

Estas frutas son oriundas de Asia y Europa y se pueden ver en estado silvestre en márgenes de caminos o torrenteras. Crecen en terrenos húmedos y en algunos casos, se pueden encontrar a 1.500 metros de altitud. Maduran durante los meses de verano y otoño. Actualmente, se cultivan especies con fines comerciales, por lo que es fácil encontrarlas en mercados especializados. El arándano que se consume en España procede básicamente de Australia, Chile, Holanda e Italia, pero cada vez toman mayor relevancia los que proceden de Asturias (Eroski Consumer, s.f).

1.5.1 Variedades

- **Arándanos negros o americanos:** (*V. corymbosum* L). Son frutos de color negro azulado y de un tamaño superior respecto al arándano común (6,5-12,5 mm de diámetro) y son los más ricos en vitamina C. Proliferan en los arbustos que crecen sobre suelos ácidos, en terrenos altos. Se trata de una especie que era tan abundante en el norte de Europa que no resultaba rentable cultivarlos comercialmente. Actualmente, su número ha disminuido y por eso es posible comprar bayas cultivadas que doblan el tamaño de las silvestres, pero con un sabor muy atenuado.
- **Arándanos rojos o agrios:** (*V. oxycoccus* L). Fueron muy populares en Europa, pero con la distribución comercial de las grosellas rojas, cayó en picada su demanda. Actualmente, se cultivan en Holanda, Polonia, norte de Inglaterra y Escocia. Necesitan cocinarse para realzar su sabor. Son frutos más agrios que los de color azul. Contienen más sustancias acidificantes de la orina, por lo que resultan recomendables para combatir infecciones urinarias y digestivas.

1.5.2 Propiedades

- **Propiedades nutritivas**

En el Cuadro 1.5 se observa que estas frutas son de bajo valor calórico por su escaso aporte de hidratos de carbono. Son especialmente ricas en vitamina C, las grosellas negras y las rojas, que tienen cantidades mayores que algunos cítricos. En general, las bayas silvestres son buena fuente de fibra que mejora el tránsito intestinal y de potasio, hierro y calcio (estos dos últimos de peor aprovechamiento que los procedentes de alimentos de origen animal), taninos de acción astringente y de diversos ácidos orgánicos. Sin embargo, lo que en realidad caracteriza a estas frutas es su abundancia de pigmentos naturales (antocianos y carotenoides) de acción antioxidante. En la alimentación humana, este tipo de frutas constituyen una de las fuentes más importantes de antocianos, que les confieren su color característico y que están junto con ácidos orgánicos tales como el ácido oxálico o el ácido málico, responsables también de su sabor. La vitamina C tiene acción antioxidante, al igual que los antocianos y carotenoides. Dicha vitamina interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos y favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones. El potasio es necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso, para la actividad muscular normal e interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula (Eroski Consumer, s.f).

Cuadro 1.5 Composición del arándano (Eroski Consumer, s.f)

Composición por 100 gramos de porción comestible	
Calorías	30,1
Hidratos de carbono (g)	6,9
Fibra (g)	1,8
Potasio (mg)	88
Magnesio (mg)	0,5
Provitamina A (mcg)	12
Vitamina C (mg)	17
Vitamina E (mg)	5

- **Propiedades para la salud**

Los antioxidantes combaten la presencia de los radicales libres en la piel, que pueden causar daño severo en esta zona del cuerpo. Los fitoquímicos y antioxidantes presentes en el arándano hacen que la piel se vea más suave y más joven. Además, es posible utilizar este fruto como mascarilla para combatir el acné, la vitamina B es buena para aumentar el crecimiento del pelo, porque mejora la oxigenación y la circulación de la sangre en el cuerpo, en particular en el cuero cabelludo. Además, la reducción del colesterol también es positiva en este sentido, y las antocianinas ayudan a estimular el crecimiento del cabello (Eroski Consumer, s.f).

Los arándanos son ideales para una dieta saludable y para perder peso, pues contienen gran cantidad de fibra y un bajo poder calórico. Esto convierte a esta fruta en una alternativa saludable, que ayuda a regular el funcionamiento intestinal y te ayuda a sentirte más saciado gracias a la fibra.

Reduce la presión arterial: los arándanos ayudan a disminuir y regular la presión arterial, en gran parte porque provocan un mayor flujo de antioxidantes y nutrientes en el organismo, lo que previene la acumulación de colesterol, y generalmente esto ayuda al cuerpo a funcionar mejor. También pueden prevenir los picos de glucosa en sangre al mejorar la respuesta del cuerpo a la insulina. Esto significa que el organismo transporta mejor los nutrientes y la sangre circula sin problemas. Asimismo, un estudio reciente de la Universidad de Florida concluye que el consumo diario de arándanos podría ser clave para reducir la presión arterial. Favorece la presencia de colesterol bueno: tal y como afirma el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, el arándano es la fruta con mayor cantidad de antioxidantes, y lo considera uno de los mejores alimentos para combatir el colesterol. Los arándanos aumentan la síntesis hepática de colesterol bueno o HDL e inhiben la formación de colesterol malo o LDL (Eroski Consumer, s.f).

Reduce el riesgo de sufrir cáncer: Según estima la Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM), en el año 2015 se diagnosticaron 220.000 enfermos de cáncer en el territorio español. Algunos estudios han concluido que el consumo de esta fruta puede ayudar a combatir el riesgo de proliferación de células cancerosas cuando estas son pocas y, además, lo hacen sin dañar otras células. Esto se debe a que los arándanos contienen ácido gálico y resveratrol, dos compuestos importantes que ayudan a reducir el impacto negativo del cáncer (Martín, 2017).

De acuerdo a Vázquez *et al* (2012), el arándano ocupa los primeros lugares entre los alimentos vegetales tanto en cantidad como en calidad de antioxidantes, por lo que puede considerarse un producto estrella para ese amplio sector de la población que, además de cubrir sus necesidades nutricionales, busca cada vez más el valor añadido de los alimentos, derivado de sus propiedades funcionales. Los análisis realizados en este estudio sobre composición fenólica y capacidad antioxidante de distintas variedades de arándanos cultivadas en Andalucía han puesto de manifiesto que este producto representa una magnífica fuente de antioxidantes naturales, ya que es especialmente rico en compuestos bioactivos. Resulta de gran interés que tanto el contenido fenólico como la actividad antioxidante de las muestras objeto de este estudio sean similares al de los arándanos silvestres, y muy superiores a los de la mayoría de las variedades cultivadas. Es un hecho bien establecido que el perfil de fitoquímicos de los productos vegetales está claramente influenciado por factores genéticos y medioambientales, resultando fundamental seleccionar las variedades que mejor se adapten a cada zona de cultivo para conseguir alimentos de óptima calidad nutricional y funcional. En este sentido, los trabajos sobre selección de variedades realizados en los últimos años en Andalucía han conseguido disponer en la actualidad de distintas variedades de arándanos de gran interés tanto desde el punto de vista agronómico como de composición química. Los resultados obtenidos en estos primeros estudios sobre caracterización nutri-funcional del arándano andaluz representan un magnífico punto de partida para establecer nuevos criterios de selección basados en su perfil fitoquímico.

1.6 Propiedades Mecánicas

Los alimentos, además de ofrecer un olor, un color y un sabor característico, exhiben determinado comportamiento mecánico: reaccionan de un cierto modo cuando intentamos deformarlos. Pueden ser duros o blandos, correosos, quebradizos o gomosos; de textura uniforme o fibrosa, entre otros. Unos fluyen fácilmente, otros con dificultad. Para expresar o estimar su comportamiento mecánico, existen dos procedimientos; uno de ellos consiste en tocar, estrujar, morder o masticar el alimento y describir las sensaciones recogidas: método sensorial. Las apreciaciones de este tipo varían ampliamente con el individuo que las efectúa, por lo que es preciso someterlas a un tratamiento estadístico. El segundo grupo de procedimientos de evaluación que es el tema que se desarrollará en este documento utiliza métodos físicos; el valor apreciado no depende, en este caso, del individuo que

efectúa la medición, la cual se realiza instrumentalmente; estos métodos suelen ser considerados como "objetivos". Al estudio físico del comportamiento mecánico de los materiales se le denomina Reología, que actualmente se define como la ciencia de la deformación y flujo de la materia (Lapasin y Pricl, 1995, Muller, 1973).

1.6.1 Reología

La masa elaborada a partir de un material amiláceo presenta propiedades viscoelásticas. El comportamiento macro estructural de la masa depende de las condiciones de proceso durante su formación, sus constituyentes y la interacción que exista entre ellos (Rodríguez *et al*,2005). La reología es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados. Una clara comprensión de las propiedades reológicas y texturales de un alimento es fundamental en la investigación y desarrollo de nuevos productos, el diseño de equipos, el mejoramiento de procesos, y el control de calidad de materias primas, productos intermedios y terminados. Estas propiedades están íntimamente relacionadas con las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los constituyentes de un sistema alimenticio, así como, las variables de operación que se aplican en las diferentes etapas del proceso. La masa de un producto amiláceo se considera como un sistema complejo e inestable que se somete a una modificación continua en sus características físicas a través de las acciones de fuerzas físicas, químicas y biológicas. La masa pertenece a un grupo de materiales viscoelásticos, en el cual un alto grado de viscosidad y plasticidad se combina con una considerable elasticidad (Wang, 2002).

La reología de alimentos es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados en la industria de alimentos. La ciencia de la reología tiene varias aplicaciones en los campos de la aceptabilidad, diseño de equipos, procesamiento y manejo de alimentos. El estudio de la reología en alimentos no cubre todos los aspectos que se incluyen en la definición de textura, como por ejemplo, la reducción de tamaño en la masticación o trituración, las superficies rugosas, la habilidad que tienen los alimentos de humedecerse y cambiar de estado con el cambio de la temperatura; por lo tanto, el estudio de la textura de alimentos se ubica parcialmente dentro del área de la reología convencional y parte fuera de esta (Bourne, 1982).

1.6.2 Pruebas dinámicas

Las pruebas oscilatorias proporcionan datos acerca de un amplio intervalo de frecuencias; sin embargo, sus parámetros fundamentales son requeridos, éstos deben ser restringidos para un comportamiento viscoelástico lineal. Esto puede ser verificado con una muestra, sometiéndola a un incremento de la amplitud de oscilación, que puede ser un barrido de deformación o de esfuerzos, dependiendo del tipo de reómetro que se emplee (Figura 2.1).

Si la amplitud de la deformación y esfuerzo se encuentran dentro de la zona de viscoelasticidad lineal (Figura 2.1), los parámetros viscoelásticos pueden ser determinados en función de la frecuencia y de las medidas de las amplitudes de deformación y esfuerzo asociados a la fase logarítmica.

- **Viscoelasticidad.**

Existen generalmente dos tipos de viscoelasticidad que se pueden presentar en un material viscoelástico. Las propiedades del material pueden estar en función del tiempo y la magnitud del esfuerzo o deformación que se haya empleado por lo cual un material viscoelástico puede ser lineal o no lineal (Rao y Steffe,1992).

- **Viscoelasticidad Lineal.**

Un material viscoelástico "lineal" tiene propiedades las cuales son dependientes de tiempo y no de la magnitud del esfuerzo que se aplica al material, esto significa que el esfuerzo o nivel de deformación del material estará sujeto a una relación lineal entre esfuerzo y deformación.

Algunos materiales podrían poseer alguna deformación límite usualmente muy pequeña donde se presenta un comportamiento lineal, esto implica que estos materiales podrían ser tratados como materiales viscoelásticos lineales a muy pequeñas deformaciones.

- **Viscoelasticidad no Lineal.**

La otra clase de materiales viscoelásticos, los cuales presentan propiedades mecánicas del tiempo y de la magnitud del esfuerzo aplicado, se conocen como viscoelásticos no lineales, en general serán representados por relaciones no lineales entre esfuerzo y deformación.

Estableciendo la zona viscoelástica lineal se analiza la evolución de G' y G'' en función de la velocidad angular (barrido de frecuencia). Donde el módulo elástico (G') es una medida

de la energía almacenada por ciclo y el módulo viscoso (G'') es una medida de la energía disipada como se muestra en la Figura 1.5. Por lo tanto, para un sólido perfectamente elástico, toda la energía es almacenada, en contraste, para un líquido con propiedades no elásticas toda la energía es disipada por lo que predomina el módulo viscoso (Citado en Adan Palomares, 2008; Barnes, *et al*,1989; Ferry, 1980; Lapasin y Pricil, 1995; Steffe, 1996).

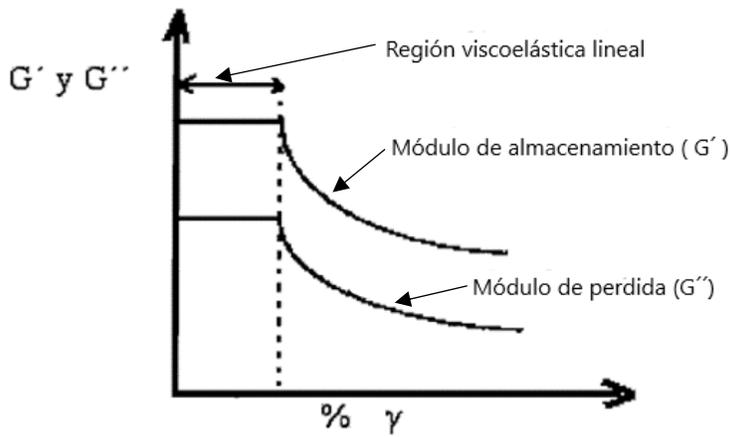


Figura 1.5 Respuesta típica a un barrido de deformación mostrando la región viscoelástica lineal (Steffe, 1996)

Una solución, un gel y una solución concentrada muestran distinto comportamiento frente a un barrido de frecuencia. Con una solución diluida, G'' es más grande que G' sobre todo el intervalo de frecuencias utilizado. Las curvas de G' y G'' se interceptan exactamente a la mitad del intervalo de frecuencia para soluciones concentradas mostrando una clara tendencia hacia el comportamiento de un sólido a altas frecuencias G' es significativamente mayor que G'' durante todo el intervalo de frecuencias para el gel (Schramm, 1994).

Es importante enfatizar que, si G' es más grande que G'' , el material puede tener comportamiento de sólido, la deformación puede ser esencialmente elástica o recuperable. Sin embargo, si G'' es mucho más grande que G' la energía usada para deformar el material es disipado viscosamente. El módulo viscoelástico determinado por encima de un intervalo de frecuencias indica zonas de transición correspondientes a procesos de relajación dependientes de las estructuras de los materiales.

1.6.3 Reología de Masas

Las propiedades reológicas determinan el comportamiento de las masas de harina de trigo durante el manejo mecánico, además de su influencia en la calidad del producto final. Tener conocimiento del comportamiento reológico de las masas y sus propiedades empieza a tomar importancia debido a la creciente automatización de la industria de la panificación (Launay, 1990; Mani et al., 1992). Las masas de harina de trigo son materiales viscoelásticos (Launay, 1990; Weipert, 1990; Petrofky y Hosenev, 1995; Rao, 1995), que poseen al mismo tiempo, las características de un líquido viscoso y un sólido elástico, que muestra un comportamiento no lineal, es decir, que depende tanto del esfuerzo como del tiempo (Navickis, 1989). La Figura 1.6 muestra el modelo mecánico que describe el comportamiento viscoelástico de la masa, éste sugiere que frente a la aplicación de un esfuerzo o deformación, el componente que responde primero es la parte elástica del material (Resorte A); posteriormente hay una respuesta simultánea de los componentes elástico y el viscoso (B,C) y por último aparece la respuesta del componente viscoso (D). La magnitud de la respuesta depende de la composición y las características de la masa (Pomeranz, 1991).

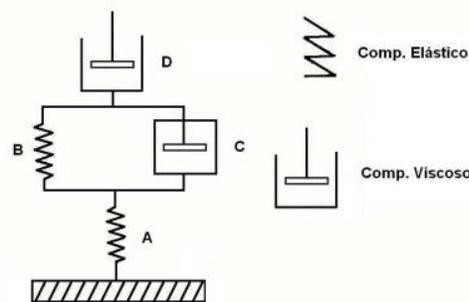


Figura 1.6 Modelo mecánico para el comportamiento reológico de la masa (Pomeranz, 1991)

Cuando harina y agua son mezcladas y sometidas a un amasado, ocurre una desnaturalización mecánica de las proteínas del gluten. Básicamente se pueden imaginar que en la masa sometida a fuerzas externas los enlaces débiles que mantienen juntos a sus constituyentes pueden romperse y reformarse, seguidos del relajamiento de la masa, total o parcialmente, bajo la aplicación de un esfuerzo (Masi et al., 1998). Las características reológicas de masas fermentadas dependen de la estructura y el arreglo de los constituyentes y las fuerzas que actúan entre ellos. Las propiedades reológicas de las

masas son análogas a las propiedades del gluten. (Mani *et al*, 1992; Schober *et al*, 2002). La glutenina es la porción a la que se le atribuye el papel de dar firmeza y fuerza, en tanto que la gliadina actúa como el adhesivo que mantiene unidas las partículas de glutenina (USWA, 1985 a). Las características de las masas son debidas principalmente al gluten (Wang y Kokini, 1995). Un componente crítico en la masa para pan, la harina, es responsable por mucho del carácter viscoelástico y por ello ha sido el centro de las investigaciones en reología dinámica. Una fórmula simplificada con harina y agua abarca una serie de interacciones complejas entre los componentes de la harina. El gluten y las principales mezclas del almidón se emplean frecuentemente en las pruebas reológicas, no sólo para controlar el contenido de proteína en la masa, además ayuda a comprender la interacción con otros ingredientes como el almidón dañado, agua y pentosanas solubles e insolubles, celulosa, lípidos y proteínas incluidas enzimas (Petrosfky y Hosenev, 1995). Las medidas dinámicas de módulos de una geometría regular sometida a pequeñas amplitudes de deformación (pruebas oscilatorias) son una técnica deseable en la caracterización de la influencia del contenido de agua y temperatura en el comportamiento reológico de las masas (Weipert, 1990). Además han provisto información acerca del efecto del contenido de proteína, el contenido de agua, diferentes aditivos como emulsionantes, agentes oxidantes, etc., así como de la dependencia de la frecuencia y los cambios en la amplitud de la deformación en las propiedades de la masa (Petrosfky y Hosenev, 1995).

1.6.4 Influencia del Proceso en la Reología de las Masas

En Cuadro 1.6 muestra algunas de las operaciones más comunes a que se someten las masas durante su procesamiento, especificando las condiciones empleadas en cada operación mecánica. Es evidente que el rango de velocidades a que está sometida la masa es sumamente amplio (10^{-4} a 70 s^{-1}) y el tipo de deformación que sufre también es diverso, por ello reproducir de forma exacta las condiciones para extrapolar el comportamiento a través de una prueba se vuelve un tanto complicado. Sin embargo, se tienen avances a ese respecto, sobre todo con pruebas de tipo fundamental, donde son controladas velocidad y deformación durante toda la prueba (Dobraszczyk, 1997).

Cuadro 1.6 Velocidades y tipo de deformación características de las masas durante el procesamiento (Dobraszczyk, 1997)

Proceso	Vel. Deformación (s ⁻¹)	Tipo de Deformación
Mezclado	70	Cizalla
Moldeado	30	Corte, extensión
Laminado	10	Extensión
Prueba	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴	Extensión biaxial
Horneado	10 ⁻² a 10 ⁻³	Extensión biaxial

1.6.5 Mezclado

Al inicio del proceso del mezclado, tienen lugar las acciones físicas como la hidratación de la harina, la formación de redes de gluten es llevada a cabo por las proteínas, y los gránulos de almidón absorben agua. La actividad enzimática de amilasas, proteasas y hemicelulosas causan la degradación de muchos componentes de la harina. Cada pequeño cambio químico y físico en las redes de gluten puede significar una modificación significativa en las características reológicas de la masa (Roach y Hosenev, 1995, Wehrle y Arendt, 1998). Las interacciones intermoleculares entre las proteínas del gluten y otras proteínas y compuestos no proteicos llevan a la formación de agregados (películas y fibras) que determinan, por su estructura y tendencia a interactuar con otros, las propiedades reológicas de la masa (Mani et al., 1992). El grado de mezclado puede alterar la viscosidad o la fluidez de la masa y determinan la textura del producto terminado. El tiempo de mezclado varía con cada receta según los ingredientes, la proporción de éstos, la temperatura el tipo de mezclado y aún otros factores (USWA, 1985b).

1.6.6 Propiedades texturales.

Las propiedades o características de textura han sido clasificadas en función de las propiedades físicas del material en: atributos mecánicos, geométricos y de composición. Además, se pueden clasificar también por el orden en que se perciben durante el consumo en: atributos de percepción inicial en el paladar, de masticación y residual (Bourne, 1982). Estos atributos se utilizan para reportar los resultados de las evaluaciones de textura tanto instrumentales como sensoriales, y para tener una idea más clara de lo que cada atributo

describe, se definen a continuación desde el punto de vista físico y sensorial algunos de ellos. La definición física tiene que ver con el tipo de prueba que se implementa a nivel instrumental, mientras que la definición sensorial está descrita tal como debe entenderla un juez al momento de evaluar el atributo durante el consumo (De Man, 1976, Bourne 1982). Las definiciones de atributos mecánicos pueden hacerse a nivel general, ya que la mayoría de los productos los presentan, sin embargo, los atributos geométricos y de composición son específicos para algunos de los productos como lácteos y productos grasos y sus definiciones están dadas en función de productos particulares.

1.6.7 Análisis de perfiles de textura TPA

En el ensayo TPA, un émbolo comprime de forma uniaxial y durante dos veces consecutivas una muestra para simular el movimiento de la mandíbula durante la masticación. La muestra se sitúa en la base y se comprime y descomprime dos veces mediante una pletina adjuntada al sistema de movimiento. Para imitar la acción de masticar se debe hacer una alta compresión, sin llegar en ningún momento a romper la muestra.

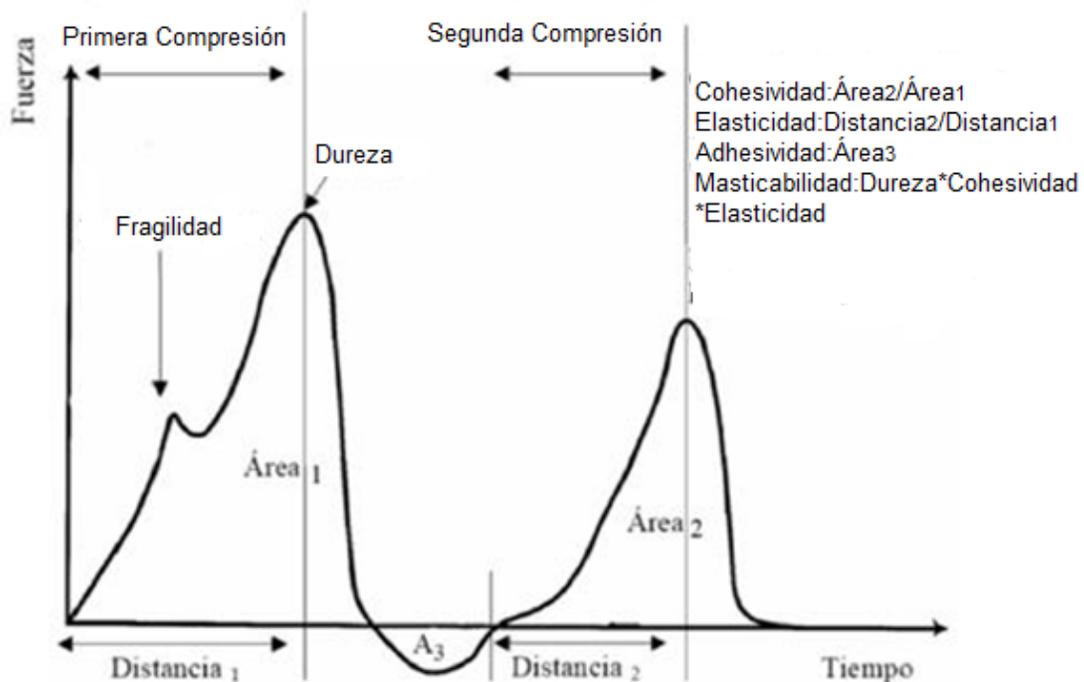


Figura 1.7 Curva ideal de un análisis de perfil de textura TPA (Talens, s.f).

La Figura 1.7 muestra una curva ideal TPA. El análisis de la curva permite obtener siete parámetros texturales muy bien correlacionados con la evaluación sensorial.

1. Fragilidad o fuerza del primer pico significativo que se obtiene tras la primera compresión.
2. Dureza o fuerza máxima ejercida en el primer ciclo de compresión.
3. Cohesividad o relación de áreas originadas en los dos ciclos de compresión y representa el trabajo necesario para comprimir la muestra por segunda vez respecto al que ha sido necesario para comprimirla la primera vez.
4. Adhesividad o área de fuerza negativa que se obtiene tras la primera compresión y que representa el trabajo necesario para separar el émbolo de compresión del alimento.
5. Elasticidad o altura que el alimento recupera respecto a la que tenía inicialmente durante el tiempo que transcurre desde que acaba la primera compresión hasta que empieza la segunda.
6. Gomosidad, definida como el producto de dureza por cohesividad.
7. Masticabilidad, definida como el producto de dureza por cohesividad por elasticidad.

La forma de la curva presentada en la Figura 1.7 dependerá mucho de las propiedades que tenga el material. Se debe tener en cuenta que los parámetros de gomosidad y masticabilidad son mutuamente excluyentes, ya que el primero es para alimentos semisólidos, mientras que el segundo para sólidos (Bourne, 2002). La gomosidad hace referencia a la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado, mientras que la masticabilidad hace referencia a la energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado.

En el Cuadro 1.7 muestra las definiciones según la norma UNE 87001-1994, para los parámetros obtenidos de un análisis de perfil de textura TPA, así como algunos ejemplos.

Cuadro 1.7 Definiciones según la norma UNE 87001-94 para los parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura TPA

Propiedad	Definición	Ejemplos
Fragilidad	Relacionada con la cohesión y con la fuerza necesaria para romper un producto en trozos.	Desmenuzable (polvorón) Crocante (manzana) Quebradizo (cachuete tostado) Crujiente (patatas fritas, chips)
Dureza	Relativa a la fuerza necesaria para deformar el alimento o hacer penetrar un objeto en él.	Blando (queso untable) Firme (aceituna) Duro (azúcar caramelizado)
Adhesividad	Relativa al esfuerzo requerido para separar la superficie del alimento de otra superficie.	Pegajoso (arroz sobrecocido) Adherente (caramelo de café con leche)
Elasticidad	Relativa a la rapidez de recuperación de la deformación después de la aplicación de una fuerza y al grado de dicha recuperación.	Plástico (mantequilla) Elástico (calamares)
Gomosidad	Relativa a la cohesión de un producto blando.	Arenoso (galletas con mucha fibra) Harinoso (alubias blancas cocidas) Pastoso (puré de patatas) Gomoso (gelatina)
Masticabilidad	Relacionada con la cohesión y el tiempo necesario o el número de masticaciones requeridas para dejar un producto sólido en las condiciones necesarias para su deglución.	Tierno (guisantes tiernos) Masticable (caramelos de goma) Correosos (carne dura)

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 *Objetivos*

Objetivo General:

Evaluar el efecto de la harina de amaranto y arándano sobre las propiedades reológicas de la masa y las propiedades texturales en una dona horneada a base de harina de trigo, para seleccionar la dona con las características similares al producto comercial.

Objetivo particular 1:

Analizar el efecto de la proporción de harina de amaranto y arándanos en las propiedades reológicas de la masa mediante pruebas dinámicas para relacionarlas con las propiedades del producto final.

Objetivo particular 2:

Analizar el efecto de la proporción de harina de amaranto y arándano mediante pruebas de análisis de perfil de textura y volumen específico para seleccionar la que proporcione las características similares a una dona comercial.

Objetivo particular 3:

Seleccionar la formulación de harina de trigo, amaranto y arándano mediante un análisis sensorial hedónico del producto terminado de más agrado al consumidor.

Objetivo particular 4:

Analizar la capacidad antioxidante del tratamiento seleccionado en el análisis sensorial y del tratamiento control de las donas, por el método de espectrofotometría para determinar su efecto relevante como alimento funcional.

2.2 *Materia Prima*

En el Cuadro 2.1 se muestran las materias primas utilizadas en la elaboración de donas; para la obtención de la harina de amaranto se tomó el amaranto inflado y se colocó en un molino de martillos con una criba de 1 mm.

Cuadro 2.1 Materia prima utilizada

Ingredientes	Marca
Harina de trigo	La moderna
Azúcar	Zulka
Sal	La fina
Agua	Epura
Levadura	Tradi-Pan
Margarina	Iberia
Huevo	San Juan
Amaranto	Arantto
Arándanos	Member´s Mark

2.3 Elaboración de donas

Con base a lo reportado en la literatura se obtuvo una formulación de dona (Noelia, 2018), que se observa en el Cuadro 2.2, así como la formulación final utilizada para la elaboración de las donas.

Cuadro 2.2 Formulación para donas (Noelia,2018)

Ingredientes	Formulación original %	Formulación final %
Harina de trigo (HT)	47.049	46.456
Harina de amaranto (HA)	0.000	2.445 -7.282
Arándanos (AR)	0.000	3.175-3.883
Azúcar	8.554	8.891
Sal	0.086	0.089
Agua	20.530	14.226
Levadura	0.941	0.978
Margarina	4.705	4.890
Huevo	18.135	18.849

2.3.1 Descripción de diagrama de proceso.

En la figura 2.5 se muestra el diagrama de proceso para la elaboración de donas horneadas el cual se describe a continuación.

Mezclado I: Se colocó en una charola la harina de trigo, la margarina a temperatura ambiente, y el azúcar para realizar una mezcla de los polvos hasta que los ingredientes se encontraban totalmente incorporados.

Mezclado II: En un vaso de precipitado se colocó el agua y la levadura agitándolo hasta tener una solución homogénea dejándolo reposar 5 minutos para posteriormente incorporarlo a la mezcla I

Amasado: Teniendo las dos mezclas incorporadas se agregó el huevo y se comenzó a amasar a mano hasta obtener una masa con características plásticas y elásticas.

Fermentación: Se colocó la masa en un recipiente de aluminio de 13 x 23 cm, se cubrió con una servitoalla húmeda y plástico de polivinilo como se muestra en la Figura 2.1 de tal forma que no se perdiera la humedad y se colocó en una habitación con temperatura de 30°C durante 60 min.



Figura 2.1 Primera fermentación de masa para donas.

Laminado: una vez terminado el tiempo de fermentación se sacó la masa del recipiente y se comenzó a desgasificar, posterior a eso se extendió la masa con ayuda de un rodillo hasta obtener una lámina de 1cm de grosor para comenzar la etapa de corte.

Corte: Se tomó un molde de aluminio para donas como se muestra en la figura 2.2 con una circunferencia de 22.5 cm y el círculo central con 3 cm de diámetro para obtener la forma de la dona.

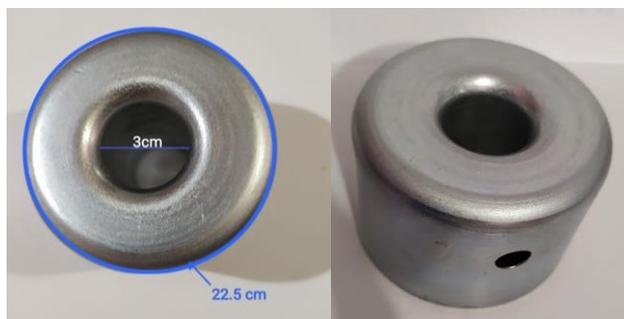


Figura 2.2 Cortador para donas

Fermentación final: Se colocaron las donas en una charola y se cubrió con plástico de polivinilo, se llevaron a una habitación con temperatura de 30°C durante 30 min para que recuperen su volumen como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3 Fermentación final de donas.

Horneado: Concluido el tiempo de fermentación final se aseguró que el horno se encontrará a 180°C, se retiró el plástico y se metieron al horno marca Binder modelo redLine RE 115 durante 6 minutos.

Enfriado: Una vez terminado el horneado se retiraron las charolas del horno y se colocan en un espacio fresco hasta que se enfriaran en su totalidad (Figura 2.4).



Figura 2.4 Enfriado de donas.

Envasado: Se empaquetaron en bolsas de plástico para un mayor tiempo de vida de aquel.

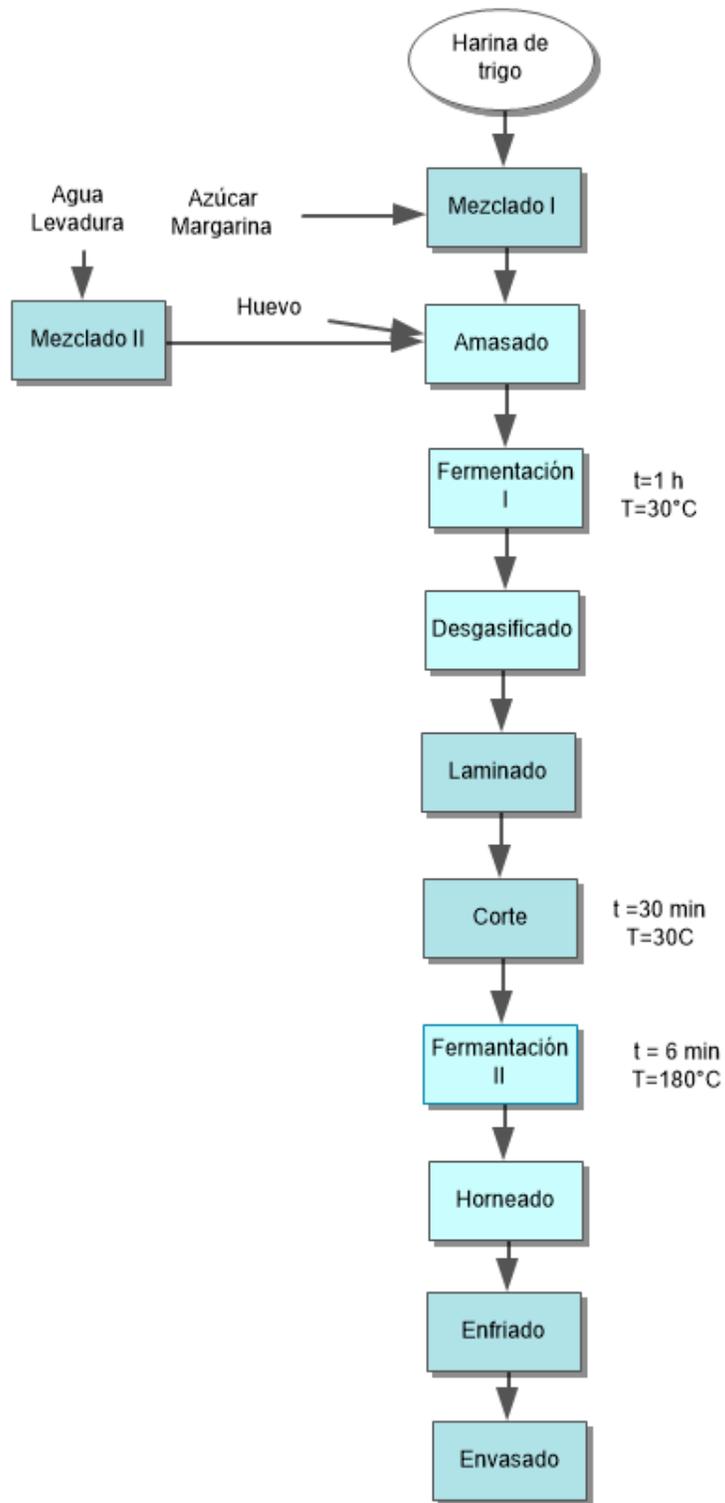


Figura 2.5 Diagrama de proceso para la elaboración de donas

Se tomó como control la formulación a base del 100% harina de trigo ya que sólo se sustituyó parcialmente con la harina de amaranto y adicionó arándanos. Se generó un diseño de mezclas en Minitab 18 teniendo como valores de, 0.55 a 0.15 de harina de amaranto y 0.05 a 0.08 de arándano con lo cual el programa arrojó el diseño que se muestra en el cuadro 2.3

Se realizó la codificación mostrada en el Cuadro 2.3 en el cual se indica el porcentaje de harina de trigo, harina de amaranto y arándano con su respectiva clave, estas claves son utilizadas para indicar los diferentes tratamientos y los resultados obtenidos en la experimentación.

La realización del código fue con las iniciales de la harina de trigo **HT**, la concentración de harina de trigo (**.85**), harina de amaranto **HA**, la concentración de harina de amaranto (**.15**) y el arándano se codificó con las dos primeras letras de la palabra **AR**, y su concentración (**0.7**) teniendo como resultado **HT.85HA.15AR.07**

Cuadro 2.3 Diseño experimental y codificación

Tratamiento	Harina de Trigo (HT)	Harina de amaranto (HA)	Arándano (AR)
HT1.00HA0AR0	1.00	0	0
HT.95HA.05AR.06	0.95	0.05	0.06
HT.95HA.055AR.08	0.95	0.055	0.08
HT.945HA.055AR.065	0.945	0.055	0.065
HT.925HA.075AR.07	0.925	0.075	0.07
HT.9225HA.075AR.07	0.9225	0.075	0.07
HT.925HA.077AR.08	0.925	0.0775	0.08
HT.9HA.1AR.075	0.9	0.1	0.075
HT.875HA.1225AR.07	0.875	0.1225	0.07
HT.8775HA.125AR.075	0.8775	0.125	0.075
HT.875HA.125AR.06	0.875	0.125	0.06
HT.85HA.14AR.07	0.85	0.145	0.07
HT.855HA.15AR.065	0.855	0.15	0.065
HT.85HA.15AR.07	0.85	0.15	0.07

2.4 Métodos de Evaluación

2.4.1 Prueba reológica.

Para esta prueba se utilizó el reómetro de placa-placa marca Haake modelo RT20 (Figura 2.6) utilizando como dispositivo una placa circular rugosa PP35. El principio de medición del reómetro es transferir cantidad de movimiento desde la placa que rota hacia la placa en la que está contenida la muestra. Se mide el par de torsión o torque del motor, requerido para mover la placa y se transforma a esfuerzo de cizalla por una constante. La velocidad de rotación se transforma en velocidad de cizalla con la constante de proporcionalidad respectiva, que también depende de las dimensiones del cono o placa que se utiliza. La viscosidad, que es una medida de la resistencia a transferir cantidad de movimiento, se calcula a través del cociente del esfuerzo de cizalla entre la velocidad de cizalla. Por el principio de funcionamiento del reómetro en esta prueba se puede controlar tanto la deformación de cizalla, como el esfuerzo de cizalla (de forma sinusoidal) obteniendo la función respectiva (también de forma sinusoidal) (Martínez, 2012).

Para realizar la prueba se elaboró la masa de acuerdo a la formulación establecida siguiendo el procedimiento del diagrama de flujo, hasta la operación de fermentación final terminando esa operación, se colocó una fracción de la masa en el reómetro se colocó el equipo a 1 mm de distancia y se eliminó el excedente de masa para comenzar la prueba como se observa en la Figura 2.7. Los bordes de las placas paralelas se cubrieron con aceite mineral para evitar la evaporación del agua durante la prueba.

La zona de viscoelasticidad lineal se obtuvo mediante un barrido de esfuerzo (38-80 Pascales) a una frecuencia constante de 0.5 Hz. Seleccionado el esfuerzo en la zona viscoelasticidad lineal, se realizó un barrido de frecuencia 0.064- 10.2 Hz con 13 puntos y temperatura de la muestra de 25°C. El software del equipo calcula el módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G''), para obtener así el espectro mecánico.



Figura 2.6 Prueba mecánica en masa para donas

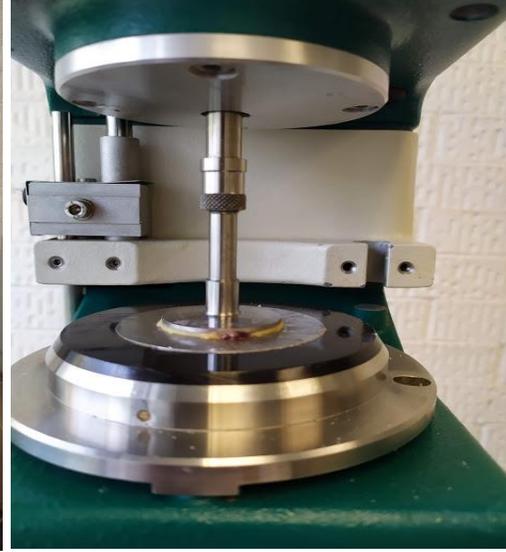


Figura 2.7 Reómetro Haake

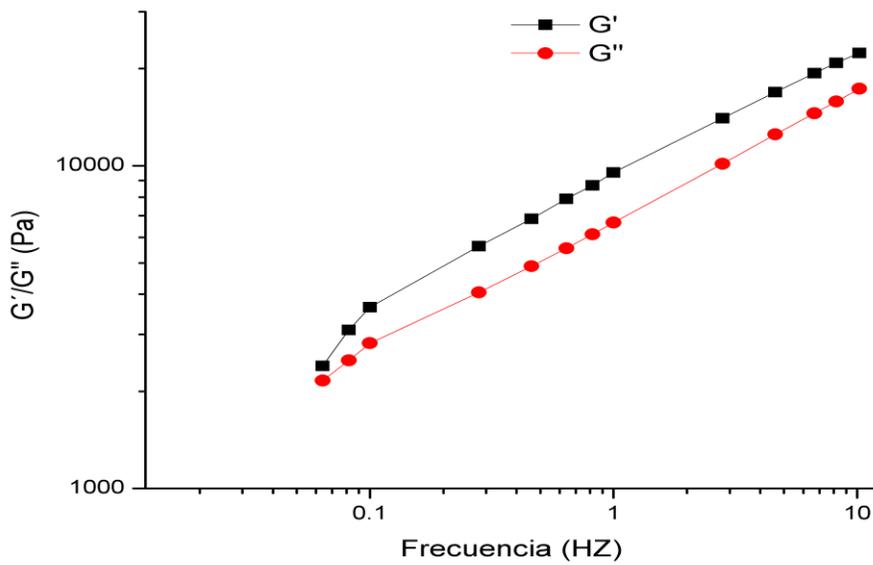


Figura 2.8 Gráfica de espectro mecánico

En la Figura 2.8 se observa la gráfica obtenida del barrido de frecuencia arrojada por el equipo, las cuales se ajustaron a un modelo potencia agregando la línea de tendencia para obtener el valor de “b” que nos indica la dependencia de G' y G'' con la frecuencia y “a” indica el valor que tomaría G' y G'' a frecuencia cero, tiempo de observación infinito. A

mayor valor de “a”, mayor es la contribución del módulo en cuestión al comportamiento de material en tiempo infinito y se modifica con la concentración.

2.4.2 Análisis de perfil de textura

Esta prueba se llevó a cabo utilizando un texturómetro Brokfield CT3. La muestra fue una dona de 7 cm de diámetro por lo cual se cortó en cuatro partes y la cuarta parte se tomó como muestra. La muestra se comprimió un 20% con respecto a la altura de la muestra utilizando como dispositivo un cilindro de acrílico de 50.8 mm de diámetro y 20 mm de altura (TA25/1000) con una precarga de activación de 5 g y a una velocidad de prueba y retirada de 2mm/seg como se muestra en la Figura 2.9.

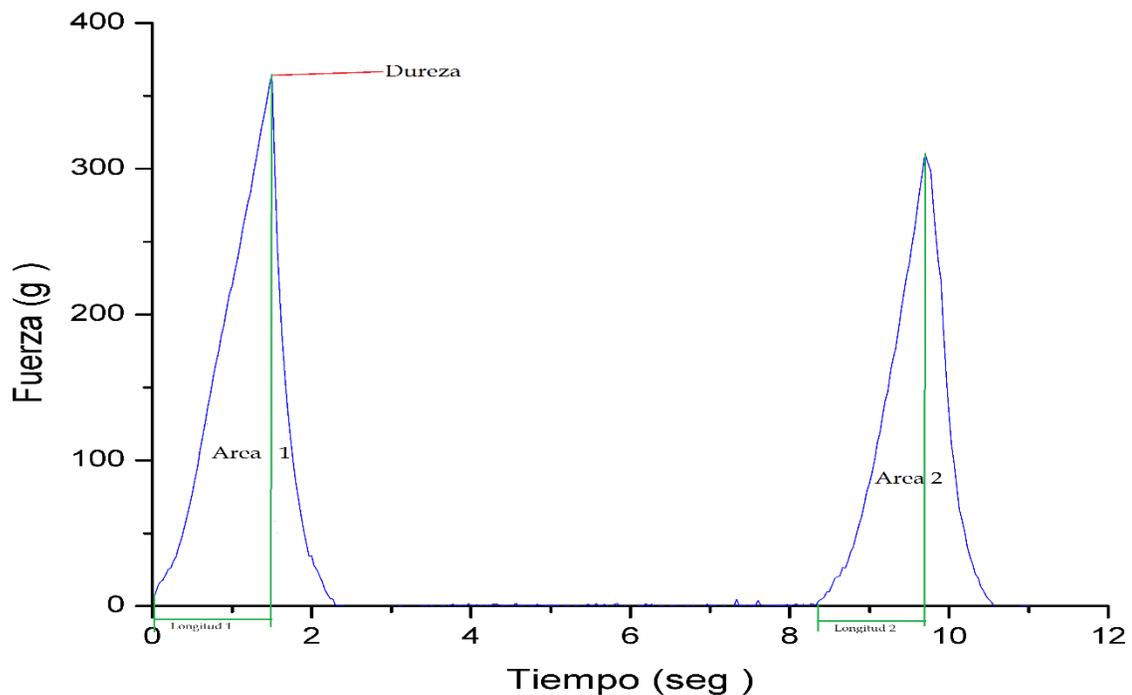


Figura 2.1 Determinación de Propiedades texturales

Al finalizar la prueba el equipo arrojó la gráfica de Análisis de Perfil de Textura como el que se muestra en la Figura 2.10, se realizaron tres repeticiones las cuales se promediaron para obtener los datos de dureza que es el punto más alto del primer ciclo de compresión como se indica en la Figura 2.10, así como la cohesividad se obtiene al dividir el área 2 entre el área 1 ($A2/A1$) indicadas en la Figura 2.10, la elasticidad es el resultado de la división de

la longitud 2 / longitud 1; por último la masticabilidad es el producto de dureza por cohesividad por elasticidad.

Además de las gráficas de perfil de textura se decidió utilizar gráficos de contorno para que se tenga una mayor apreciación del efecto de la harina de amaranto y harina de trigo en las propiedades de dureza, cohesividad, índice de elasticidad y masticabilidad.



2.4.3 Tamaño de alveolos

El objetivo de esta prueba es observar si existen cambios en la matriz y en el tamaño de alveolos de la miga de la dona por la adición de harina de amanto.

La determinación del tamaño de alveolos se realizó cortando una dona en dos, para observar la miga y tomar una fotografía con ayuda de un teléfono móvil.

Figura 2.9 Gráfica representativa del Análisis de Perfil de textura.

2.4.4 Volumen específico por desplazamiento de semillas.

Es la medición del volumen final alcanzado por el producto después del horneado en relación con el peso del producto, la finalidad es conocer la capacidad de retención de vapor y gases durante los procesos de fermentación y cocción de la masa.

Este parámetro fue medido empleando una modificación del método 10-05 de la AACCC (2000), La prueba consiste en depositar la dona sin haber sido cortada ni aplastada en un recipiente cilíndrico después de haber sido pesado.

La prueba se llevó a cabo a todos los tratamientos y se introdujeron las semillas de alpiste en un vaso de precipitado de un litro y se marcó la altura alcanzada, luego se vacía el cilindro colocando las semillas en otro recipiente, posteriormente se introdujo una dona al vaso, se colocó nuevamente todas las semillas en el vaso y se midió la distancia de desplazamiento de las mismas a partir de la marca inicial como se muestra en la Figura 3.9, posteriormente se utiliza la ecuación 2.1 para obtener el volumen de la dona.

$$v = \pi \times r^2 \times D \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.1}$$

Donde

v =Volumen de la dona (cm³)

r = radio del cilindro (cm)

D = Distancia desplazada desde la marca (cm)



Figura 2.10 Determinación de volumen



Figura 2.11 Determinación de volumen

Esta prueba se realiza para determinar el peso de la dona con ayuda de una balanza analítica, con este dato obtenido se determina el volumen específico utilizando la ecuación 2.2

$$ve = \frac{v}{w} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2}$$

Donde

Ve =volumen específico (mL/g)

V= volumen(cm³)

W =peso (g)

2.4.5 Prueba Hedónica

Consiste en pedirle a los panelistas que den su informe sobre el grado de satisfacción que tienen de un producto, al presentar una escala hedónica o de satisfacción, pueden ser verbales o gráficas, la escala verbal va desde me gusta muchísimo hasta me disgusta muchísimo, entonces las escalas deben ser impares con un punto intermedio de ni me gusta ni me disgusta. La escala gráfica consiste en la presentación de caritas o figuras faciales. La escala más empleada para el desarrollo de esta prueba es la escala de Peryamm y Pilgrim, (1957). Estas pruebas son una herramienta muy efectiva en el diseño de productos y cada vez se utilizan con mayor frecuencia en las empresas debido a que son los consumidores quienes, en última instancia, convierten un producto en éxito o fracaso.

Para realizar esta prueba se seleccionó una población de 25 personas entre 19 y 22 años y se le proporcionó una papeleta como la que se muestra en la Figura 2.12.

Edad _____ sexo _____

	Olor													color													Sabor													Textura														
Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Me gusta mucho																																																						
Me gusta																																																						
Me es indiferente																																																						
Me disgusta																																																						
Me disgusta mucho																																																						

Observaciones _____

Figura 2.12 Papeleta para prueba hedónica

Al finalizar la prueba se realizó el conteo de las propiedades organolépticas color, olor, sabor y textura registrando los resultados en un gráfico radial como el que se presenta en la Figura 2.13.

Los gráficos radiales son una forma de comparar múltiples variables. Esto los hace útiles para ver qué variables tienen valores similares o si hay valores atípicos entre cada variable. Los gráficos radiales también son útiles para ver qué variables son altas o bajas dentro de un conjunto de datos, haciéndolos ideales para mostrar el rendimiento.

A cada variable se le proporciona un eje que empieza en el centro. Todos los ejes se disponen radialmente, con distancias iguales entre sí, manteniendo la misma escala entre todos los ejes. Las líneas de cuadrícula que se conectan de eje a eje a menudo se usan como guía. Cada valor de variable se traza a lo largo de su eje individual y todas las variables en un conjunto de datos se conectan para formar un polígono.

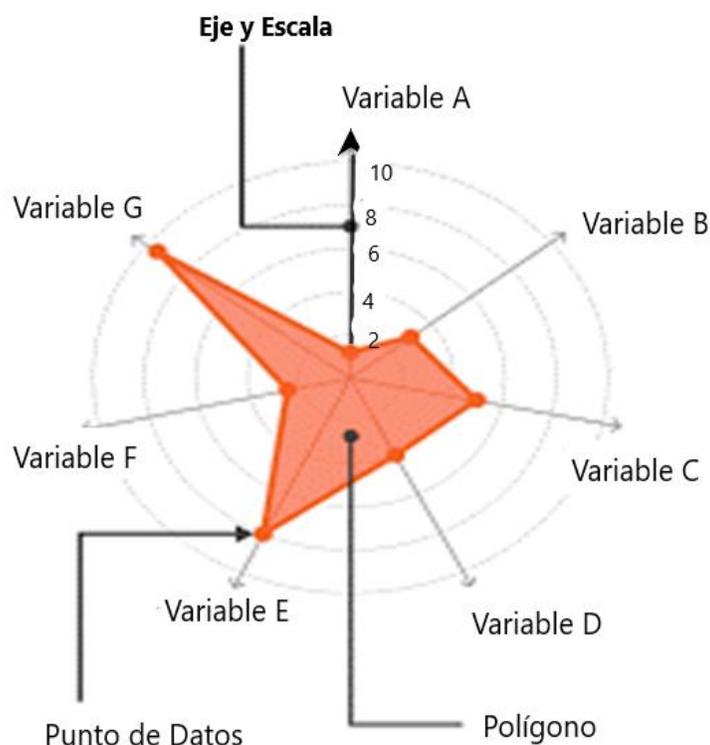


Figura 2.13 Gráfica radial

2.4.6 Determinación de antioxidante como capacidad de eliminación de DPPH

La capacidad de eliminación del extracto de las muestras de donas con amaranto y control, se determinó usando el radical 2,2-difenil-1-picrylhidrazilo estable (DPPH), como se describe en el método reportado por (Ranjbar *et al*, 2019) y (Ragae *et al*, 2011), adaptado en nuestro laboratorio.

El método se basa en la medida de la absorbancia del radical DPPH (3.9 mL, 60 mmol/L) disuelto en una solución de metanol al 80% a una longitud de onda de 515 nm. Esta solución fue adicionada en 0.1 mL del extracto y se homogenizó lentamente. La absorbancia se midió inmediatamente a 515 nm en un espectrofotómetro. Luego, la solución se dejó en la oscuridad durante 60 minutos antes de tomar una segunda lectura de absorbancia. La actividad antioxidante se expresa como porcentaje de inhibición, la cual corresponde a la cantidad de radical DPPH neutralizado por el extracto a una determinada concentración, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición} = \left(1 - \frac{A_m}{A_o}\right) \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 3.3}$$

Donde:

A_o= Absorbancia del control sin muestra (Metanol)

A_m= Absorbancia con la muestra

3.1 Prueba Reológica

3.1.1 Barrido de esfuerzo para determinar la zona de viscoelasticidad lineal

Al realizar el barrido de esfuerzo de tratamientos a diferentes proporciones de harina de amaranto, harina de trigo y arándanos se determinó que la zona de viscoelasticidad lineal se encontraba a un esfuerzo de 60 Pa, donde G' y G'' son independientes del tiempo. Por lo que se estableció tomar el valor 60 Pa para llevar a cabo las pruebas de frecuencia oscilatoria.

3.1.2 Barrido de frecuencia para determinación de espectro mecánico

Como se observa en el Cuadro 3.1 al tener una menor concentración de harina de trigo y mayor concentración de harina de amaranto (HT.875HA.1225AR.07 y HT.875HA.125AR.06) el módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G'') disminuyen debido a que la harina de amaranto afecta a la calidad del pan, fundamentalmente como consecuencia de la fibra la cual puede dificultar la formación de la red de gluten, que a su vez se vio afectada por la menor cantidad de gluten en las muestras con harina de amaranto, y que, por tanto, repercutió en el volumen y dureza de la miga (Bodroza *et al*, 2008).

Al aumentar la cantidad de harina de amaranto, el contenido de moléculas de bajo peso molecular presentes en la masa es mayor, debido a la despolimerización sufrida durante los tratamientos para la obtención de la harina de amaranto, que conduce a una matriz menos estructurada con un rendimiento reológico más viscoso (Guardianelli *et al*, 2019).

Cuadro 3.1 Parámetros reológicos de Modulo elástico (G') y Modulo Viscoso (G'') en diferentes proporciones de harina de amaranto y harina de trigo en masa para donas

Tratamiento	$G' = a'f^{b'}$			$G'' = a''f^{b''}$		
	a	b	R^2	a	b	R^2
HT1.00HA0AR0	19144 ^{abc} ±3362	0.277 ^a ±0.202	0.988	11098 ^b ±1281	0.354 ^a ±0.002	0.997
HT.95HA.05AR.06	6982 ^{bc} ±969	0.417 ^a ±0.035	0.994	5506 ^b ±969	0.430 ^a ±0.032	0.998
HT.95HA.055AR.08	6504 ^{bc} ±303	0.405 ^a ±0.0252	0.988	4981 ^b ±246	0.411 ^a ±0.012	0.998
HT.945HA.055AR.065	16688 ^{abc} ±3689	0.358 ^a ±0.027	0.995	11000 ^b ±2491	0.351 ^a ±0.028	0.997
HT.925HA.075AR.07	33454 ^{abc} ±2692	0.328 ^a ±0.016	0.992	20026 ^{ab} ±1482	0.302 ^a ±0.011	0.995
HT.9225HA.075AR.07	35432 ^{ab} ±13184	0.438 ^a ±0.035	0.967	31468 ^{ab} ±17827	0.361 ^a ±0.026	0.980
HT.925HA.077AR.08	17148 ^{abc} ±1444	0.389 ^a ±0.012	0.991	11733 ^b ±1100	0.361 ^a ±0.007	0.998
HT.9HA.1AR.075	9005 ^{abc} ±788	0.416 ^a ±0.014	0.992	6742 ^b ±788	0.401 ^a ±0.013	0.999
HT.875HA.1225AR.07	3234 ^c ±581	0.368 ^a ±0.029	0.994	2693 ^b ±413	0.443 ^a ±0.0274	0.998
HT.8775HA.125AR.075	19970 ^{abc} ±1392	0.404 ^a ±0.018	0.988	18210 ^{ab} ±1564	0.350 ^a ±0.014	0.997
HT.875HA.125AR.06	3684 ^c ±1677	0.424 ^a ±0.011	0.993	2898 ^b ±1105	0.459 ^a ±0.025	0.999
HT.85HA.14AR.07	38404 ^a ±3123	0.355 ^a ±0.061	0.988	20280 ^{ab} ±11715	0.324 ^a ±0.068	0.990
HT.855HA.15AR.065	30965 ^{abc} ±6299	0.378 ^a ±0.018	0.989	19624 ^{ab} ±3083	0.348 ^a ±0.013	0.998
HT.85HA.15AR.07	12395 ^{abc} ±4605	0.368 ^a ±0.029	0.993	7997 ^b ±2320	0.3674 ^a ±0.0453	0.997

Harina de trigo (HT), Harina de amaranto (HA), Arándanos (AR). *Análisis estadístico diferencia significativa entre muestras si: A, B, C (letras diferentes), n=3.

En la Figura se 3.2 se puede observar solo 5 tratamientos (HT1.00HA.0AR.0, HT.95HA.05AR.06, HT.9HA.1AR.075, HT.85HA.14AR.079, HT.87HA.1225AR.07), los primeros cuatro para observar si con la adición proporcional de 5% de harina de amaranto sigue una tendencia y el tratamiento HT.87HA.1225AR.07 porque es el valor más bajo en los datos estadísticos; se puede observar que el comportamiento elástico predomina sobre el comportamiento viscoso y que conforme aumenta el porcentaje de harina de amaranto sigue una tendencia igual que la observada por Guardianelli *et al* (2019) quien indica que a niveles bajos (5%) de harina de amaranto (HT.95HA.05AR.06) se produciría un ablandamiento de la matriz de gluten, mientras que a niveles altos (HT.85HA.14AR.07) este efecto debilitador se compensaría con un refuerzo de la estructura del gluten probablemente debido a la contribución de las proteínas globulares de amaranto, pero también se observa que el tratamiento HT.875HA.1225AR.07 no sigue con esa tendencia.

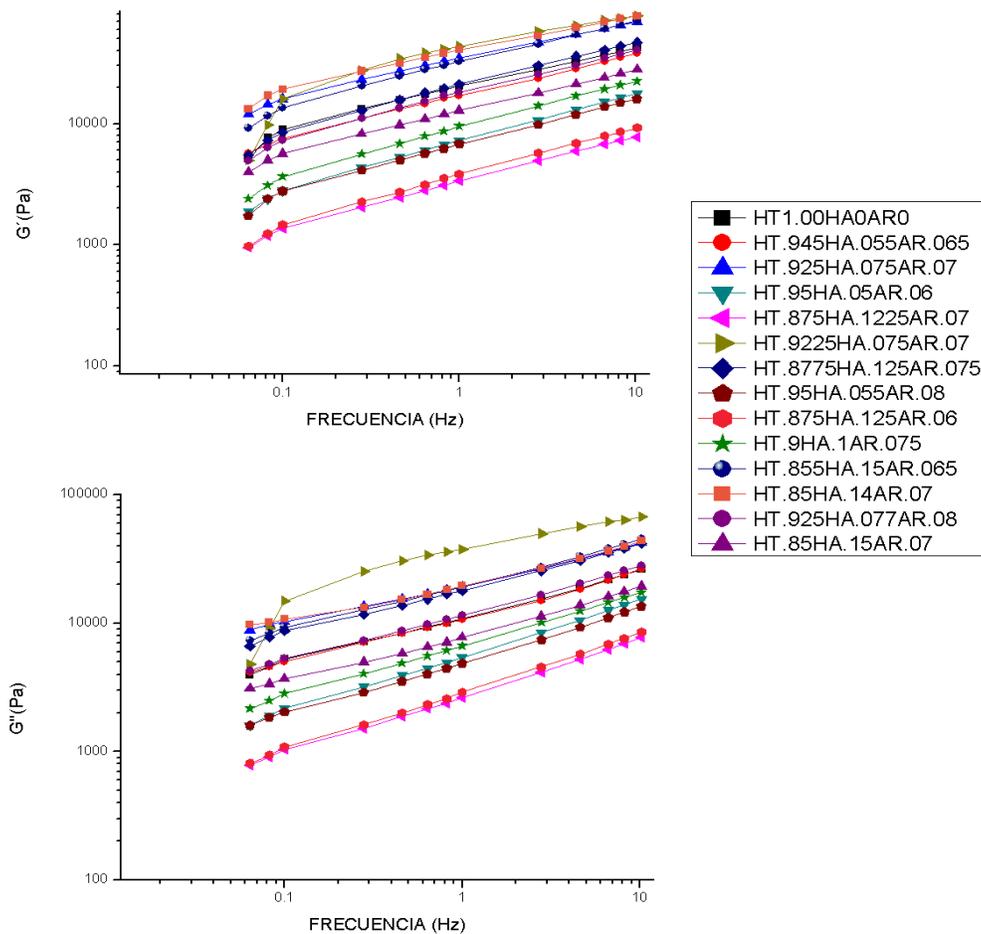


Figura 3.1 Parámetros reológicos de Módulo elástico (G') y Módulo Viscoso (G'') en diferentes proporciones de harina de amaranto y harina de trigo en masa para donas.

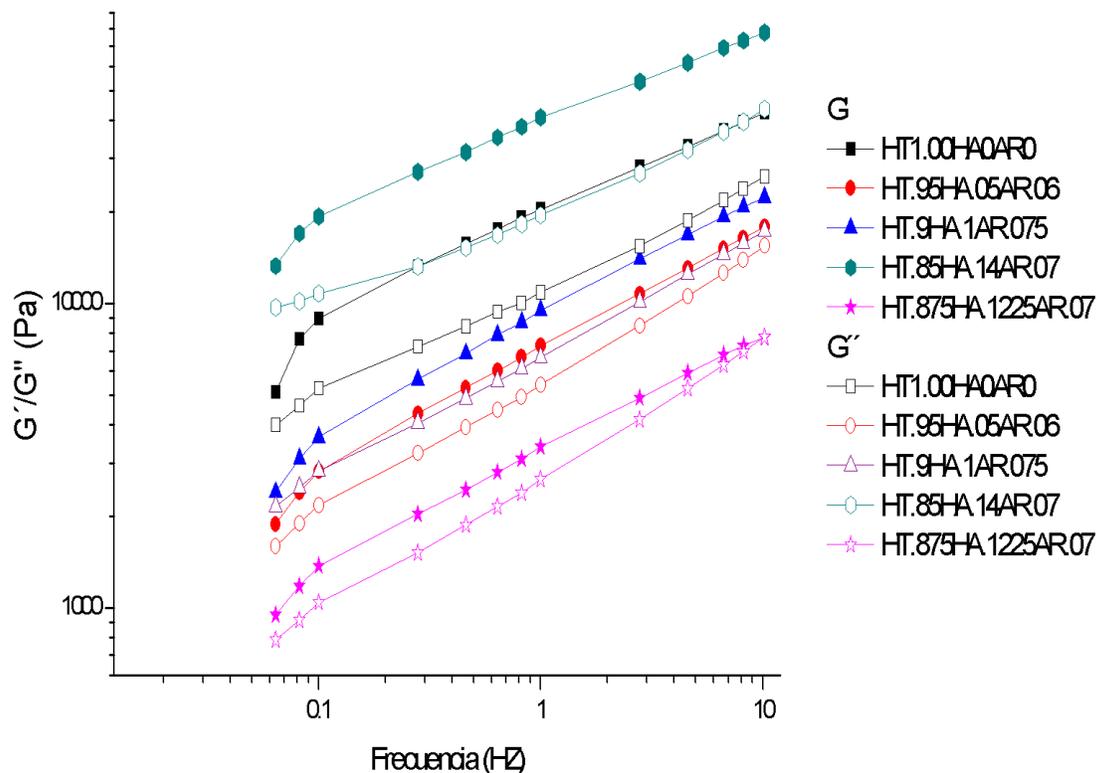


Figura 3.2 Barrido de frecuencia módulo elástico Y módulo viscoso G'' en masa para donas en diferentes concentraciones de harina de amaranto.

3.2 Análisis de perfil de textura (TPA)

En el Cuadro 3.2 se pueden observar los resultados obtenidos de la prueba de análisis de perfil de textura en los cuales la dureza aumenta conforme aumenta la proporción de harina de amaranto y disminuye la proporción de harina de trigo, sin embargo, los tratamientos que tienen un porción de 0.12 de harina de amaranto (HT.875HA.1225AR.07, HT.8775HA.125AR.07, HT.875HA.125AR.06) tienen valores de dureza de 285, 6255 y 1377gf respectivamente, teniendo diferencias significativas a comparación del tratamiento control HR1.00HA0AR0 con un valor de dureza de 367gf.

La masticabilidad aumenta conforme aumenta la proporción de harina de amaranto HT1.00HA0AR0 (7.300 mJ) HT.85HA.14AR.07 (23.07 mJ) lo que indica que al momento de consumir la dona se requiere más energía para poderla ingerir; la cohesividad disminuye

conforme aumenta la proporción de harina de amaranto y disminuye la proporción de harina de trigo, HT1.00HA0AR0 (0.7767), HT.855HA.15AR.07 (0.6467), teniendo un producto con mayor cantidad de harina de amaranto se va a deformar menos antes de romperse lo que también se debe a que el índice de elasticidad disminuye conforme aumenta la cantidad de harina de amaranto y disminuye la cantidad de harina de trigo HT1.00HA0AR0 (0.8833) HT.855HA.15AR.07 (0.83). No se presentaron diferencias significativas en ninguna propiedad mecánica por la adición de los arándanos.

Cuadro 3.2 Parámetros texturales diferentes concentraciones de harina de trigo y harina de amaranto en donas

Tratamiento	Dureza gf	Cohesividad	Índice de elasticidad	Masticabilidad mJ
HT1.00HA0AR0	367 ^b ±0.361	0.776 ^a ±0.056	0.883 ^a ±0.040	7.300 ^d ±0.361
HT.95HA.05AR.06	732.7 ^b ±2.29	0.686 ^{ab} ±0.030	0.873 ^a ±0.030	13.00 ^{cd} ±2.29
HT.95HA.055AR.08	706.7 ^b ±2.51	0.730 ^{ab} ±0.017	0.883 ^a ±0.028	13.43 ^{cd} ±2.51
HT.945HA.055AR.065	757.3 ^b ±1.405	0.743 ^{ab} ±0.032	0.886 ^a ±0.026	14.33 ^{cd} ±1.405
HT.925HA.075AR.07	1058.7 ^b ±3.76	0.733 ^{ab} ±0.011	0.870 ^a ±0.025	18.82 ^{cd} ±3.76
HT.9225HA.075AR.07	755 ^b ±8.90	0.726 ^{ab} ±0.077	0.936 ^a ±0.070	1363 ^{cd} ±8.90
HT.925HA.077AR.08	873.3 ^b ±1.562	0.653 ^{abc} ±0.032	0.830 ^a ±0.035	13.90 ^{cd} ±1.562
HT.9HA.1AR.075	901 ^b ±3.80	0.640 ^{abc} ±0.065	0.853 ^a ±0.046	14.50 ^{cd} ±3.80
HT.875HA.1225AR.07	2851 ^{ab} ±10.25	0.606 ^{bc} ±0.049	0.903 ^a ±0.087	49.33 ^b ±10.25
HT.8775HA.125AR.075	6255 ^a ±1.652	0.536 ^c ±0.050	0.693 ^b ±0.035	106.2 ^a ±1.652
HT.875HA.125AR.06	1377 ^b ±4.28	0.650 ^{abc} ±0.010	0.860 ^a ±0.023	22.00 ^c ±4.28
HT.85HA.14AR.07	1257 ^b ±4.41	0.7033 ^{ab} ±0.025	0.910 ^a ±0.062	23.07 ^c ±4.41
HT.855HA.15AR.065	1361 ^b ±3.64	0.6467 ^{abc} ±0.040	0.830 ^a ±0.030	21.67 ^c ±3.64
HT.85HA.15AR.07	860.7 ^b ±5.79	0.723 ^{ab} ±0.104	0.873 ^a ±0.055	14.50 ^{cd} ±5.79

Harina de trigo (HT), Harina de amaranto (HA), Arándanos (AR) *Análisis estadístico diferencia significativa entre muestras si: A, B, C D (letras diferentes), n=3

De acuerdo a la Figura 3.3a, se puede observar que a mayor cantidad de harina de amaranto (0.08-0.12) y menor cantidad de harina de trigo (0.925-0.85) se obtiene una mayor dureza 6255 gf (HA.8775HA.125AR.075) en el producto, esto puede deberse a que al aumentar el contenido de amaranto disminuye el contenido de gluten, disminuyendo el gluten en este tipo de panes provoca un cambio en el tamaño y distribución de los alveolos ocasiona un menor número de alveolos siendo mayor su tamaño como se observa en la Figura 3.4 donde se compra la miga de la dona con adición de harina de amaranto con el tratamiento control o sin adición de harina de amanto (HT1.00HA0AR0). Esto impidió la expansión de la masa durante la fermentación, debido a la interferencia del salvado en la eficiente formación y desarrollo de la estructura de los alveolos (Sanz et al., 2010), como consecuencia disminuye el volumen específico, lo que está relacionado con una mayor absorción de agua y disminución de la estabilidad, la actividad de amilasa y la gelificación de almidón, significando que el ingrediente más importante para formar la estructura de la masa es el almidón. Álvarez et al, 2010 menciona que el almidón de un pseudocereal como el de quinoa presenta mayor solubilidad, capacidad para ligar agua, y viscosidad que el almidón de trigo.

Como se observa en la Figura 3.3b, la cohesividad disminuye conforme aumenta porcentaje de harina de amaranto (0.12-0.15) y disminuya la harina de trigo (0.925-0.85) obteniendo un valor de 07767 en el tratamiento HT1.0HA0AR0 y un valor de 0.5367 en el tratamiento HT.8775HA.125AR.075 lo que indica que se deforman más antes de su ruptura, esto provoca que se desborone con mayor facilidad, lo que influye en el índice de elasticidad por la disminución de estructura, ya que se obtuvo un valor de 0.8833 en el tratamiento de HT10HA0AR0 en comparación al tratamiento HT.8775HA125AR.075 con un valor de 0.6933. Con estos datos se observa que con la adición de harina de amaranto el índice de elasticidad disminuye como se muestra en la Figura 3.3c, lo que la matriz de las donas se vea afectada teniendo un producto que después de ser comprimido no regresa a su forma como una dona comercial.

En la Figura 3.3d, se observa que a mayor proporción de harina de amaranto (0.10-0.15) y menor proporción de haría de trigo (0.90-0.85) la masticabilidad aumenta, teniendo cambios significativos; el tratamiento de HT1.0H0AR0 obtuvo un valor de 7.300 mJ y el tratamiento de HT.8775HA.125AR.075 con un valor de 106.2 mJ. En este estudio se demostró que la

masticabilidad tiene una relación directa con la elasticidad y la cohesividad ya que la masticabilidad es el resultado de la elasticidad y cohesividad, entendiéndose que el pan más masticable es aquel que presenta menor valor de masticabilidad ya que requiere desde el punto vista sensorial más tiempo de deglución en la boca antes de ingerirlo, Al comparar la masticabilidad con la dureza (Figura 3.3a) se puede observar que estos dos parámetros siguen el mismo comportamiento, indicando que a menor dureza menor masticabilidad.

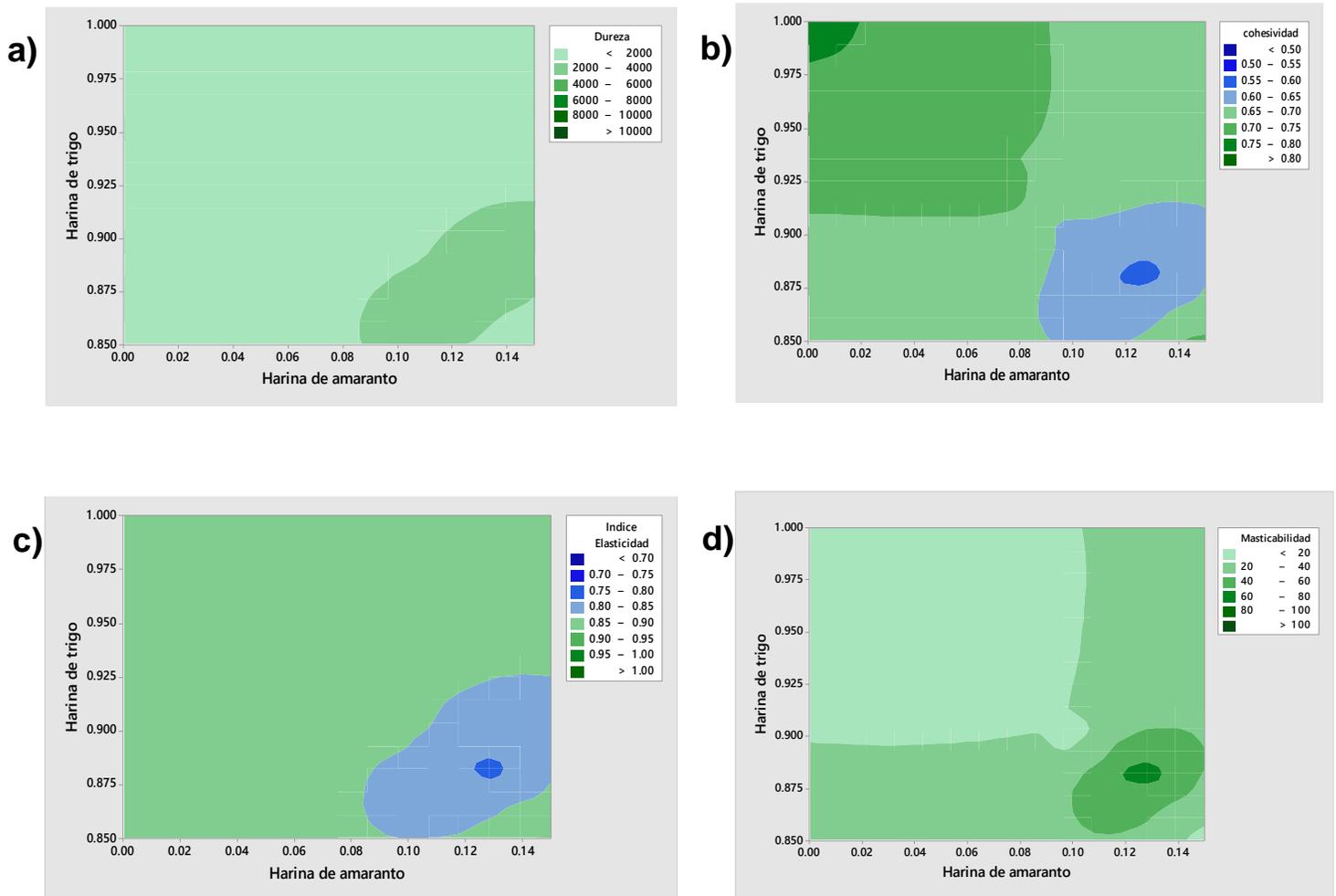


Figura 3.3 Efecto de la adición de harina de amaranto en la a) dureza, b) cohesividad, c) índice de elasticidad en donas y d) masticabilidad



Sin adición de harina de amaranto



Con adición de harina de amaranto

Figura 3.4 Estructura de la miga en donas con y sin adición de harina de amaranto

En la Figura 3.5 se muestra la gráfica de perfil de textura (TPA) de todos los tratamientos, se observa que hay un incremento de las propiedades texturales en tratamientos de HT.8775HA1225AR0.07, HT.875HA1225AR0.07 e incluso que estos llegan, a tener adhesividad, eso va a generar que se implemente fuerza para retirar el material que se adhiere a la boca al momento de consumirlos. Este comportamiento podría deberse a la incorporación de una cierta proporción de proteínas globulares del tipo P-globulina (Avanza y Añón, 2007 ; Quiroga *et al*, 2009). Estas proteínas, que pueden unir una mayor cantidad de agua que las proteínas del gluten generando una competencia por el agua y las diferencias en el tamaño de los gránulos entre los almidones (Fonseca *et al*.,2017), teniendo presente que la función del almidón en productos de panificación es el procesos de gelificación que se basa en la absorción de agua de los gánalos de almidón al calentar a más de 55°C por rompimiento de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que al tener una mayor pérdida de agua por parte del almidón del amaranto va a formar un gel más fuerte y como consecuencia se obtiene una mayor dureza en las donas.

En la figura 3.6 solo se tomaron en cuenta los tratamientos (HT1.00HA.0AR.0, HT.95HA.05AR.06, HT.9HA.1AR.075, HT.85HA.14AR.079 y HT.87HA.1225AR.07), para tener un aumento constante del 5% de harina de amaranto y además de ser los mismos

tratamientos de las Figura 3.2 (Parámetros reológicos), para observar cómo es la relación de las propiedades texturales y reológicas.

En la Figura 3.6 se puede ver que las propiedades texturales aumentan conforme aumenta la proporción de harina de amaranto, ya que el perfil de textura del tratamiento control HT1.0HA0AR0 se encuentra por debajo de los tratamientos HT.925HA.075AR.08, HT.9HA.1AR0.75 Y HT.855HA.15AR.65 los cuales van aumentando respectivamente; esto puede ser porque las harinas de pseudocereales enteras son ricas en fibra dietética y no proporcionan gluten, pero sus proteínas, como la albúmina, tienen la capacidad de interactuar con la proteína de glutenina de trigo a través de enlaces disulfuro, lo que no debilita demasiado la red de gluten (Oszvald *et al*, 2009).

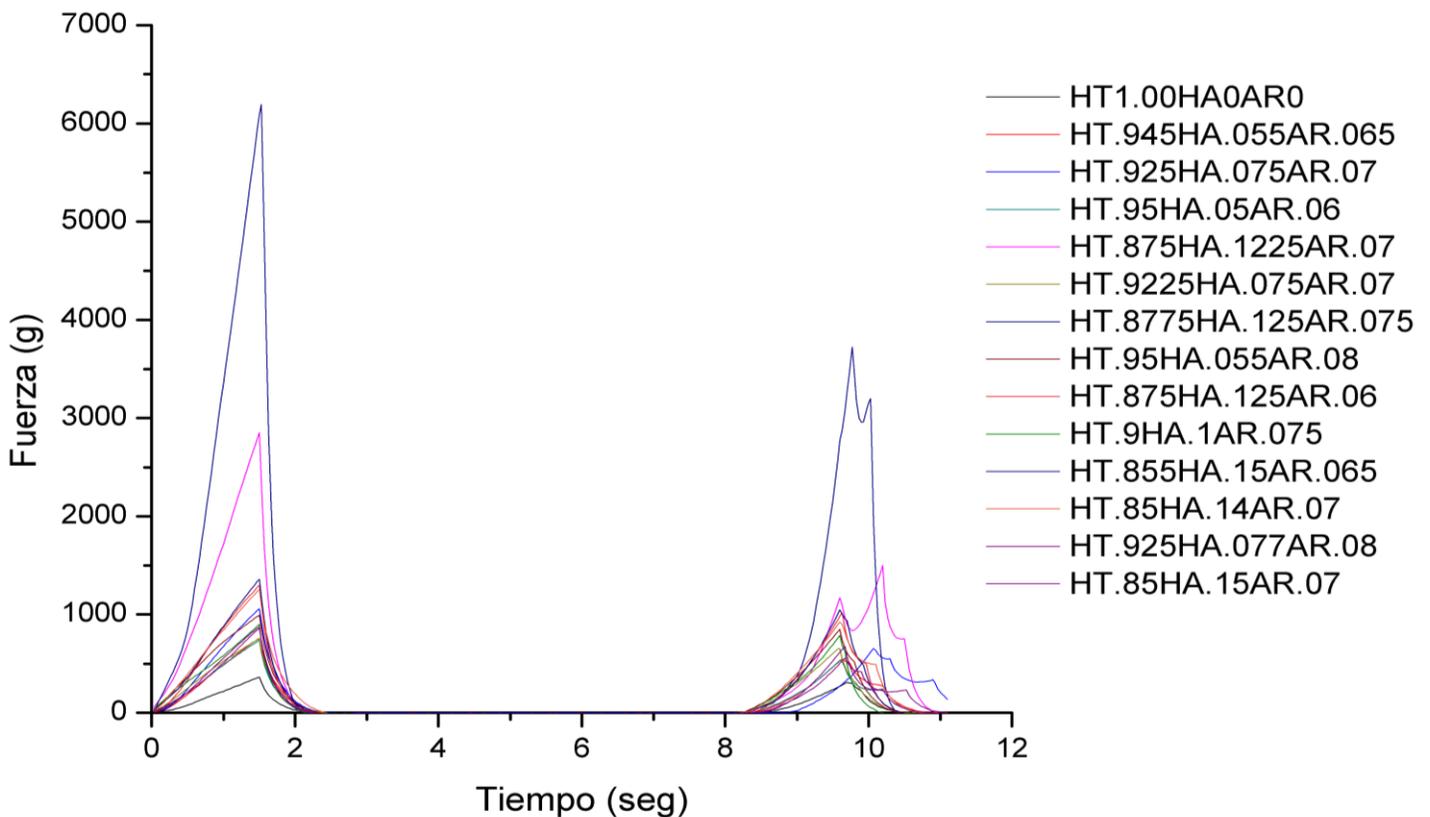


Figura 3.5 Efecto de la proporción de harina de amaranto en el perfil de textura.

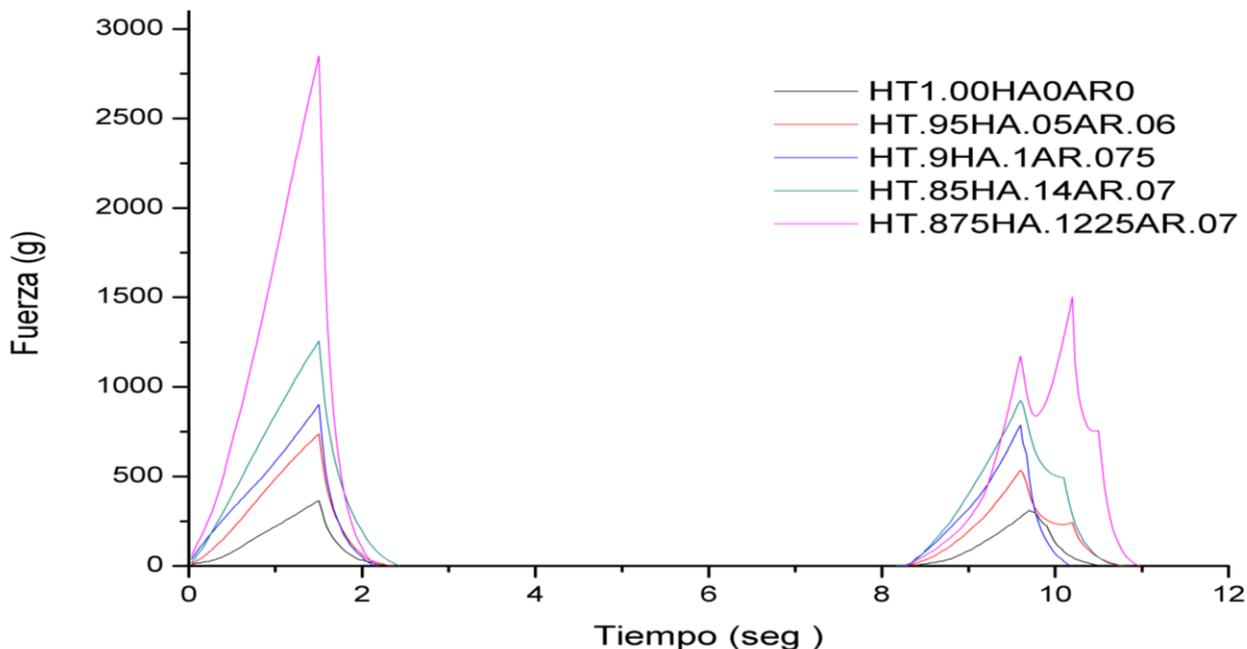


Figura 3.6 Análisis de perfil de textura de los tratamientos HT1.00HA0AR0, HT.925HA.075AR.08, HT.9HA.1AR0.75 Y HT.855HA.15AR.65

De acuerdo a las propiedades reológicas mostradas en la Figura 3.2 y comparándola con las propiedades texturales de la Figura 3.6 se puede observar que existe una relación directa en el tratamiento HT.875HA.1225AR.07 ya que tuvo uno de los datos más bajos de G' y G'' y en la propiedades texturales fue de los datos más altos lo que indica que al tener un valor menor de G' y G'' se obtiene un pan con mayor dureza como lo indica (Bodroza *et al*, 2008), pero no todos los tratamientos siguen esta tendencia porque en ese caso el tratamiento HT1.00HA0R.00 debería de tener una dureza mayor que el tratamiento HT.85HA.14AR.07 tiene los valores más altos de G' y G'' sin embargo presenta valores altos de dureza, lo que solo indica que a mayor adicción de harina de amaranto mayor será la dureza obtenida del producto final.

3.3 Volumen específico

En el Cuadro 3.3 se muestran los valores de volumen específico. Para obtener los valores se determinó volumen y peso de acuerdo a los resultados obtenidos se observó que en el volumen específico hay valores significativos entre el tratamiento HT.875HA.1225AR.07 con un valor de 6.787 mL/g, con la adición de harina de amaranto el volumen específico disminuye teniendo un valor de 4.739 mL/g en el tratamiento HT.9HA.1AR0.75.

Cuadro 3.3 Volumen específico a diferentes proporciones de harina de amaranto y harina de trigo en donas horneadas.

Tratamiento	Volumen específico (mL/g)
HT1.00HA0AR0	6.548 ^{ab} ±1.077
HT.95HA.05AR.06	5.513 ^{ab} ±1.186
HT.95HA.055AR.08	4.761 ^b ±0.378
HT.945HA.055AR.065	5.041 ^{ab} ±0.1265
HT.925HA.075AR.07	6.183 ^{ab} ±0.722
HT.9225HA.075AR.07	5.301 ^{ab} ±0.786
HT.925HA.077AR.08	5.967 ^{ab} ±0.217
HT.9HA.1AR.075	4.739 ^b ±0.269
HT.875HA.1225AR.07	6.787 ^a ±0.252
HT.8775HA.125AR.075	5.703 ^{ab} ±0.786
HT.875HA.125AR.06	5.441 ^{ab} ±0.657
HT.85HA.14AR.07	5.821 ^{ab} ±0.513
HT.855HA.15AR.065	5.607 ^{ab} ±0.1292
HT.85HA.15AR.07	6.639 ^{ab} ±1.042

Harina de trigo (HT), Harina de amaranto (HA), Arándanos (AR). *Análisis estadístico diferencia significativa entre muestras si: A y B (letras diferentes), n=3.

De acuerdo a la Figura 3.7 el volumen específico disminuye con la adición de harina de amaranto y disminuyendo la proporción de harina de trigo, esto a causa de la falta de gluten. Sanz *et al*, (2013) Observaron una tendencia similar en pan con harina de trigo reemplazado por Amaranto *cruentus* y Amaranto *caudatus*, respectivamente. Este comportamiento se observó en otros estudios como resultado de la inclusión de ingredientes como la fibra en las formulaciones de pan, debido a un efecto de dilución de gluten (Iglesias *et al*, 2015) esto también indica que no se produjo una retención de gas durante la fermentación. Por tanto, se podría afirmar que a mayor porcentaje de

suplementación con harina de amaranto se obtuvo un menor tamaño del pan (Montero *et al*, 2015).

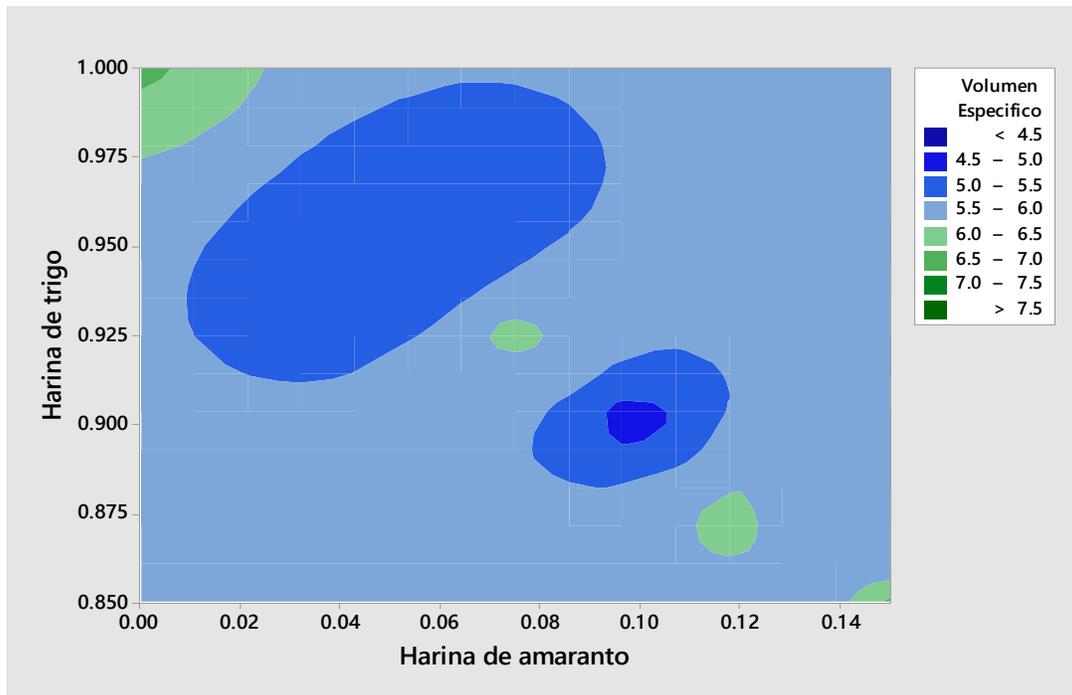


Figura 3.7 Efecto de la adición de amaranto en el volumen específico.

El peso disminuye conforme aumenta la proporción de harina de amaranto y disminuye la proporción de harina de trigo ya que la harina de amaranto es más ligera que la de trigo, la disminución de peso también se puede deber a la absorción de agua ya que al momento de la elaboración de la masa ésta se volvía más viscosa, pero al término del tiempo de fermentación la masa se sentía más dura y con mayor humedad a comparación del tratamiento control (HT1.0HAAR0).

Otro factor que puede influir es el horno en el que se realizó la cocción de las donas, es un horno de convección en el cual su funcionamiento es de aire caliente, estos hornos se utilizan principalmente para secado ya que vaporiza una proporción del agua en el ambiente. Esto también puede afectar el volumen del producto final ya que la cocción es rápida, pero nos ayuda a tener mayor caramelización en la corteza como se muestra en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Donas horneadas con adición de harina de amaranto

3.4 Propiedades organolépticas

Se realizaron pruebas organolépticas por las características de una prueba hedónica a 26 personas, 16 mujeres y 10, hombres con un rango de 19-23 años como se muestra en la Figura 3.9. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.10a, en el cual se observa que el tratamiento con mayores votos fue el de HT.9HA.1AR.075. En todas las características evaluadas (olor, color, sabor, textura) el tratamiento que desagradó más fue el de HT.85HA.15AR.07, esto debido a que es el tratamiento que se siente como una dona más seca lo cual hasta podía llegar a provocar sed; todos los tratamientos tuvieron votos negativos en la característica de textura ya que entre las observaciones realizadas indican que se sienten un poco secas. La mayoría de los votos fueron en el nivel de “me gusta seguido por “me es indiferente”, lo que indica que es un producto aceptado por el consumidor. Las observaciones obtenidas fueron que no se percibe mucho el sabor a arándano por lo cual se recomienda incrementar el sabor, así como que tenga un poco más aroma.

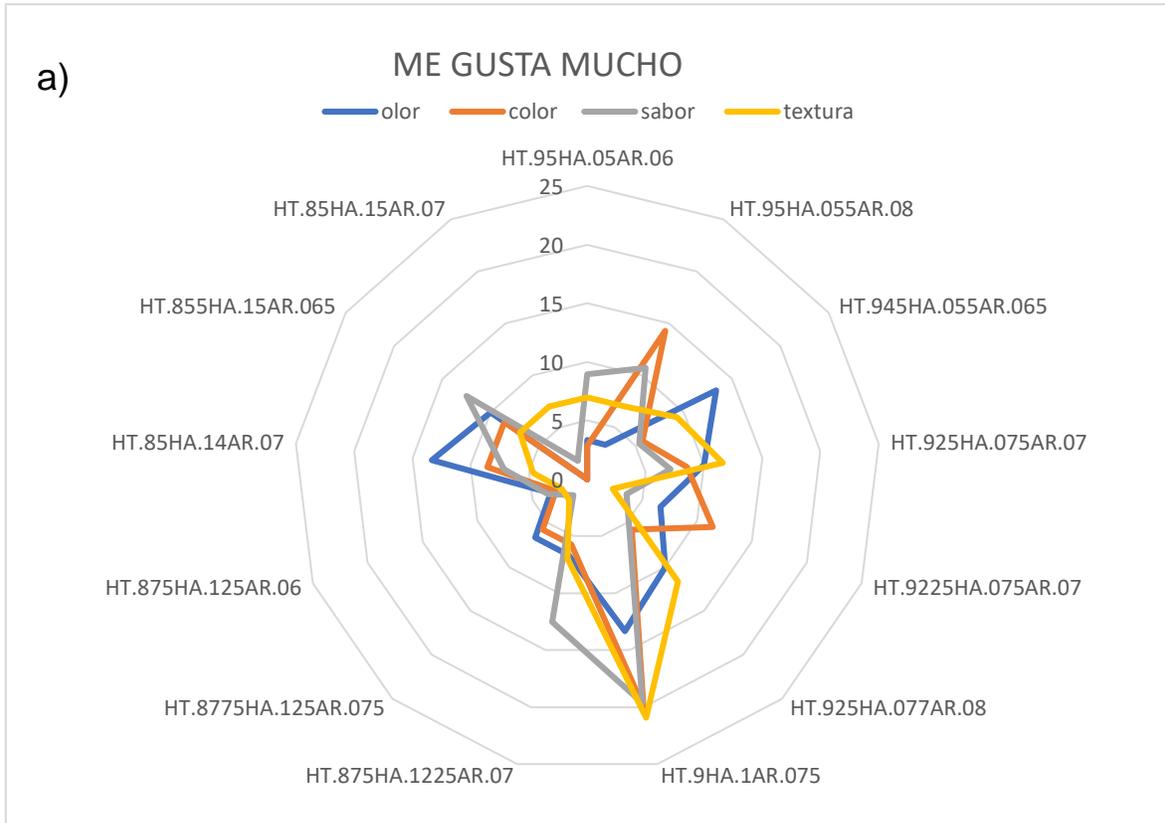


Figura 3.9 Evaluación de propiedades organolépticas de dona

En la Figura 3.10a, se observan los resultados el nivel de “me gustó mucho” el tratamiento HT.9HA.1AR.075 es el que tiene mayor aceptación en olor, color, sabor, y textura, el segundo tratamiento con mayor agrado en el sabor es HT.855HA.15AR.065, en textura es HT.925HA.075AR.07, en olor HT.85HA.14AR.07. En la Figura 3.10b se encuentran los valores de “me gusta”; en la característica de sabor los tratamientos con valores mayores son HT.855HA.15AR.065, HT.95HA.055AR.08, HT.925HA.075AR.07; en textura los tratamientos con mayores valores son HT.9225HA.075AR.07 y HT.95HA.055AR.08, en color los tratamientos HT.945HA.055AR.065, HT.95HA.05AR.06 y HT.855HA.15AR.065, los tratamientos con mayores valores son HT.95HA.05AR.08 y HT.85HA.15AR.07. En la Figura 3.10c, se muestra que el tratamiento HT.85HA.15AR.07 tuvo un rechazo mayor de los consumidores en sabor y textura, teniendo valores en “me disgusta mucho” en todos los tratamientos en la característica de textura.

Con los resultados obtenidos anteriormente mencionados se determina que el tratamiento HT.9HA.1AR.075 es el de mayor agrado al consumidor por lo cual es el seleccionado para realizarle la prueba de capacidad antioxidante.

a)



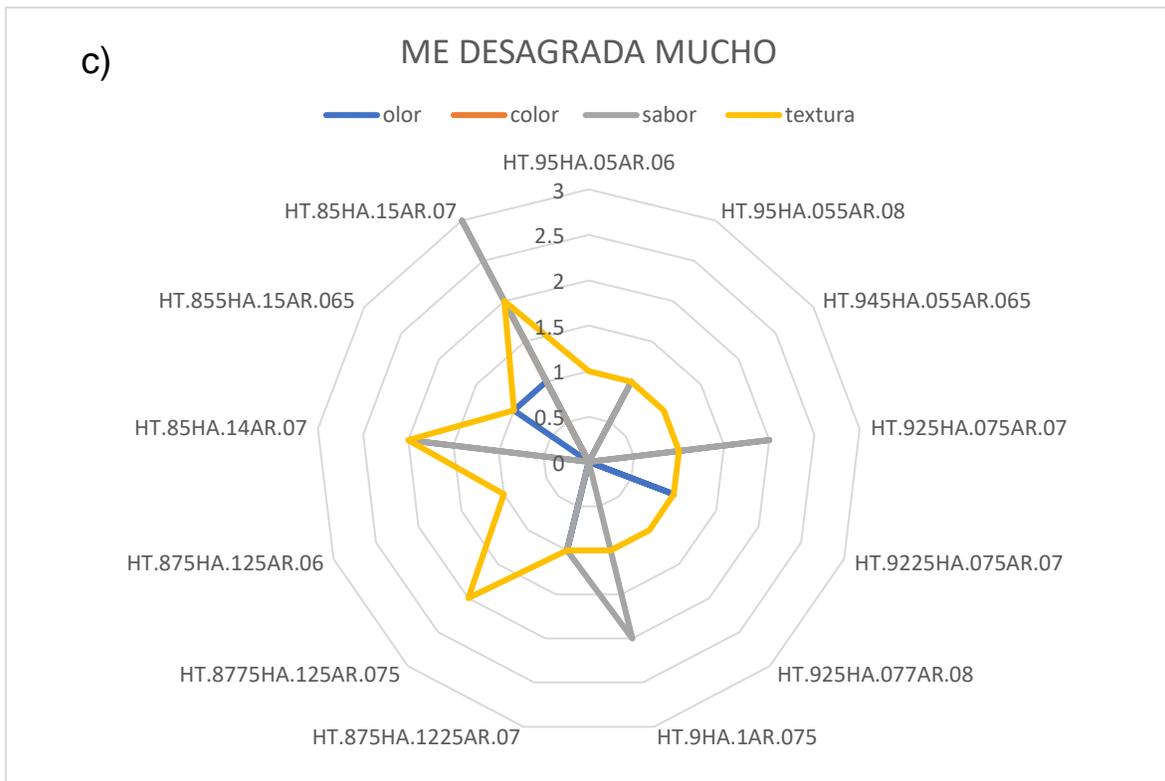
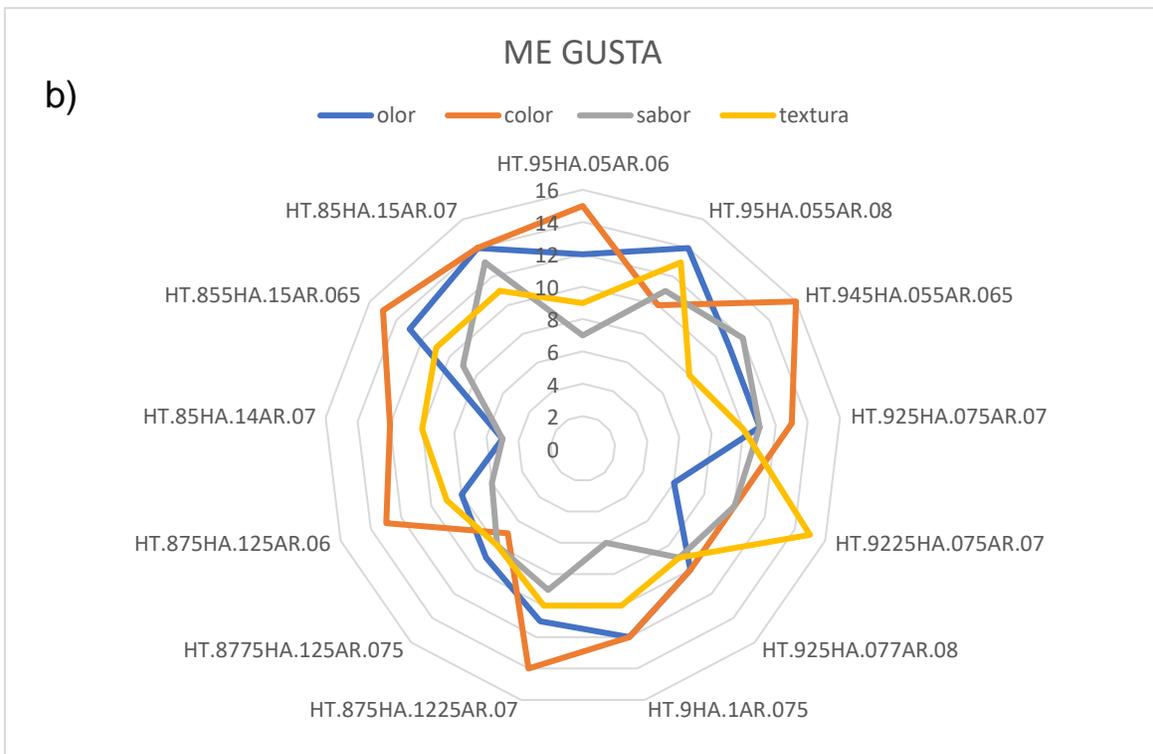


Figura 3.10 Parámetros organolépticos a) me gusta mucho, b) me gusta y c) me disgusta mucho.

3.5 Capacidad antioxidante

Los compuestos antioxidantes debido al doble rol que cumplen, han ido ganando importancia en la industria alimentaria y en medicina preventiva como estabilizadores de lípidos. Además de retrasar el envejecimiento celular y tienen cierto factor protector frente enfermedades degenerativas (Cedano, 2012; INIAP, 2014).

En el Cuadro 3.4 se observan los resultados de la prueba de capacidad antioxidante al tratamiento HT.9HA.1AR.075 con un valor de 89.567 % ya que fue el que obtuvo una mayor aceptación en las pruebas organolépticas y al tratamiento HT1.00HA0AR0 con un valor de 90.180 %, Los resultados obtenidos indicaron que no existió diferencia significativa entre los tratamientos este se debe a que la porción de arándanos incorporada es muy reducida, sin contar que los arándanos ya tuvieron un tratamiento posterior de deshidratación, lo que afecta las propiedades antioxidantes ya que tienen una pérdida de 67% con respecto al fruto fresco (García, 2016), sin embargo la actividad antioxidante en productos a base de cereales son relativamente altos (Slavin, 2007). Además, contienen compuestos que ejercen efectos protectores antioxidativos como: ácidos fenólicos, flavonoides y carotenoides (Feria, 2011).

Por lo tanto, el arándano no aporta la capacidad antioxidante pero la harina de trigo aporta un alto porcentaje (90.180%) lo que hace que las donas horneadas con adición de harina de amanto y arándanos cumple como alimento funcional.

Cuadro 3.4 Capacidad antioxidante en donas.

Tratamiento	Capacidad antioxidante %
HT1.00HA0AR0	90.180 ^a ±0.436
HT.9HA.1AR.075	89.567 ^a ±0.172

Conclusiones

La adición de harina de amaranto en donas tiene un efecto en las propiedades mecánicas, en las propiedades reológicas disminuye el módulo elástico y viscosos conforme aumenta la proporción de harina de amaranto (0.10-0.15), pero la adición de amaranto en proporciones pequeñas (0.05-0.077) interfieren con la red de gluten impidiendo que esta se forme correctamente, incrementando las propiedades viscoelásticas de la masa para donas.

De acuerdo al análisis de perfil de textura se observó que a mayor adición de harina de amaranto la dureza y masticabilidad aumenta, los valores de cohesividad e índice de elasticidad disminuyen al igual que el volumen y el peso de la las donas.

Tomando en cuenta el tratamiento seleccionado como “mejor” por el análisis organoléptico HT.9HA.1AR.075, se puede observar que los valores textura de ese tratamiento son los intermedios; Dureza 901gf, Cohesividad 0.64, Índice de elasticidad 0.8533 y Masticabilidad 14.50mJ con un volumen específico menor que los demás tratamientos con un valor de 4.739 pero se encuentra dentro de los valores reportados en otras investigaciones de pan con adición de harina de amaranto; a pesar de estas características el consumidor lo aceptaría para su consumo ya que es un producto innovador.

En el estudio realizado por Montero *et al* (2015) se demostró que la adición del 10% de harina de amaranto presentó las mejores características visuales y la mejor composición nutricional especialmente proteínas, lípidos y minerales. Además, esto se vio potenciado por su alta digestibilidad pudiendo ser utilizados como coadyuvante en los regímenes dietéticos hipocalóricos.

Por la incorporación de arándanos no existió interacción en ninguna propiedad, tampoco se generó capacidad antioxidante, pero funciona con endulzante de la dona, sin embargo, si existe capacidad antioxidante ya que la harina de trigo aporta un 90% en las donas.

La utilización de harina de amaranto constituye una alternativa viable para mejorar el valor nutricional de donas por lo que las donas horneadas con adición de harina de amanto es una alternativa para los problemas de obesidad registrados en nuestro país ya que el consumidor mexicano recurre a las donas como snack, y con el consumo de este producto el consumidor obtendría beneficios a la salud, debido a que es un producto con altas concentraciones de carbohidratos sin cantidades excesivas de lípidos, con la aportación de

aminoácidos esenciales por la adición de harina de amaranto y una alta capacidad antioxidante por la harina de trigo.

Recomendaciones

Tomando en cuenta principalmente el análisis sensorial se recomienda tener una mayor proporción de arándanos, determinar un tratamiento de secado en el que no pierda sus propiedades antioxidantes.

Para tener un mayor agrado del consumidor se recomienda realizar un glaseado el cual puede ser de arándanos con amaranto inflado ya que el consumidor busca un producto dulce lo que puede ocultar la falta de humedad.

Para realizar un producto más saludable se recomienda sustituir el azúcar por algún edulcorante y así aumentar la población que pueda consumir las donas por ejemplo los diabéticos.

Realizar las formulaciones con el porcentaje de agua de la formulación original ya que al agrega muy poca agua, la masa será muy firme y difícil de trabajar con ella y se obtendrán panes de tamaño pequeño y una apariencia no muy atractiva, así como utilizar un mejorador lo que puede ayudar con la formación de la red de gluten y mejorará las propiedades texturales de las donas.

Realizar la masa con una mezcladora para tener un mejor control sobre el tiempo y velocidad determinando condiciones para la formación de la masa y analizar si la adición de amaranto extiende el tiempo de amasado.

Referencias

- AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, Method 10–05, (10th ed.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN (2000)
- Aleixandre, L. (1996). Procesos de Elaboración de Alimentos ed. U.P.V., Valencia.
- Aleixandre, L. y García, M. J. (1999). Industrias Agroalimentarias. Ed. U.P.V., Valencia.
- Alvarez, L, Arendt EK, Gallagher E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. Trends in Food Science and Technology. 21 (2),106-113.
- AMA (Asociación Mexicana del Amaranto). (2009). Centro de información al consumidor de amaranto. Salud y Nutrición. México. D.F., México. Recuperado 03 de marzo 2019 www.amaranto.com.mx/menucorp/somos/somos.html.
- Asociación mexicana de amaranto. (2003). “Salud y Nutrición. Amaranto, el mejor Alimento de origen vegetal”. Recuperado 8 de marzo 2019. <http://www.amaranto.com.mx>
- Avanza, M; Añón, M. (2007) Effect of thermal treatment on the proteins of amaranth isolates, Journal of the Science of Food and Agriculture, 87 (4) ,616-623.
- Barnes, H. A., Hutton, J. F., Walters, K. (1989). An introduction to rheology. Elsevier Science Publishers, New York, E.U.A.
- Barrozo, J. (2017). Elaboración de Pan de Caja A Partir De Mezclas De Harina De Trigo Suave Y Trigo Duro Sometido A Un Proceso Térmico-Alcalino. Tesis De Licenciatura. Universidad Autónoma Del Estado De México.
- Becker, R. (1989). “Preparation, composition, and nutritional implications of amaranth seedoil”. Cereal Foods World.34(11), 950-953.
- Bodroza, M., Filiocev, B., Kevresan Z., Mandic A., Simurina, O. (2008). Quality of bread supplemented with popped *Amaranthus cruentus* grain. J. Food Proc. Eng. 31,602-618.
- Bourgeois, M. y Larpent, P. (1995). Microbiología Alimentaria II: Fermentaciones Alimentarias. Ed. Acribia, Zaragoza.

- Bourne, M., (1982). Food texture and viscosity: Concept and measurement, San Diego, Academic Press, 119.
- Bourne, M.C. (2002). Food Texture and viscosity. Concept and measurement. Second edition. Editorial Elsevier Science and Technology Books.
- Breene, W. (1991). "Food uses of grain amaranth". Cereal Foods World. 36(5), 426-430.
- Bressani, R. (1989). "The proteins of grain amaranth". Food Review Internacional 5(1),13-38.
- Calaveras, J. (1996). Tratado de Panificación y Bollería. Ed. AMV, Madrid.
- Callejo, M. (2002). Industrias de Cereales y Derivados. Ed. AMV-Mundi-Prensa, Madrid.
- Calvel, R. (1983). La Panadería Moderna. Ed. América Lee, Buenos Aires.
- Casañ, M. (2016). La levadura y su importancia en la elaboración de pan. Recuperado 14 de enero 2020, <https://pansingluten.net/salud-y-nutricion/la-levadura-y-su-importancia-en-la-elaboracion-de-pan/>
- Caselato, V y Amaya J. (2012). Estado del conocimiento sobre grano de amaranto: una revisión exhaustiva Journal Food Science, 77 (4), R93 - R104.
- Castel, M. (2010). Estudio de las propiedades funcionales, tecnológicas y fisiológicas de las proteínas de amaranto. Tesis de maestría. Instituto de Tecnología de Alimentos-FIQ-UNL.
- Cauvain, S., Campden y Chorleywood Research Association (2001). Breadmaking. In Owens, G. Ed. Cereals Processing Technology. Cambridge, Woodhead Publishing
- Cedano, I. (2012). El creciente uso de antioxidantes. Revista chilena de nutrición y biotecnología para la salud.
- Conde, D. (2014). Estudio de la fermentación en panes funcionales, reducidos en grasas, carbohidratos y sal. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta, 94.
- De Man, J., Voisey, P., Rasper, V., Stanley, D. (1976). Rheology and Texture in Food Quality. Avi Publishing Co. Westport, Conn.

- Diario de gastronomía. (2017). El papel de la levadura en las propiedades del pan. recuperado 01 de marzo 2019. <http://diariodegastronomia.com/papel-la-levadura-las-propiedades-del-pan/>
- Dobrasczczyk, B.J. (1997). Development of a new dough Inflation system to evaluate doughs, *Cereal Chemistry*. 62 (3),158-162
- Dyner, L., Drago, S.R., Piñeiro, A., Sánchez, H., González, R., Villaamil, E., Valencia, M. E. (2007). Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harinas de trigo y amaranto. *Sociedad Latinoamericana de Nutrición* 57(1).
- Eliasson, A., Larsson, K. (1993). *Cereals in Breadmaking: A Molecular Colloidal Approach*. Ed. Marcel Dekker, New York.
- Eroski Consumer.(s.f.). Frutas guía práctica de las frutas. Recuperado el 20 de febrero de 2019, de <http://frutas.consumer.es/arandano/propiedades>
- Escudero, N.L., Arellano, M.L., Luco, J.M., Gimenez, M., Mucciarelli, S. (2004). Comparison of the chemical composition and nutritional value of Amaranth cruentus flour and its protein concentrate”. *Plant Food for Human Nutrition*, 59(1), 15-21.
- FAO/OMS/UNU. (1985). Necesidades de energía y proteínas. OMS., Ginebra. Serie de Informes técnicos, 72
- Fellows, P. (1993). *Tecnología Del Procesado De Los Alimentos: Principios Y Prácticas*. Ed Acribia,Zaragoza.
- Feria, J. (2011). Caracterización de la composición fenólica y capacidad antioxidante del té (*Camellia sinensis*) en productos de diferentes marcas comercializadas en Chile. Chile
- Ferry, J. D. (1980). *Viscoelastic properties of Polymers*. 3° ed., John Wiley and Sons, New York, E.U.A.
- Fonseca, H., Velazquez, G., Gómez, C., Velasquez, E., Hernadez, E., [Mata,J., Solis,S.M](#) Méndez, G.(2017). Gelling of amaranth and achira starch blends in excess and limited water. *LWT - Food Science and Technology*, 81, 265-273.
- García, M. (2016). Contenido en antocianos y compuestos fenólicos en diferentes frutos frescos y deshidratados. Tesis de maestría. Universidad Miguel Hernández del che, Escuela politécnica superior de Orihuela.

- Guardianelli, L., Salinas, M., Puppo, M. (2019). Hydration and rheological properties of amaranth-wheat flour dough: Influence of germination of amaranth sedes. [Food Hydrocolloids](#) ,97.
- Guerrero, A. (s.f.). ¿Cuál es el origen de las donas? Recuperado el 20 de febrero 2019, de <http://www.imujer.com/gourmet/145407/cual-es-el-origen-de-las-donas>.
- Hernandez, R y Herrerias, G. (1998). Amaranto: Historia Y Promesa. [Versión electrónica] Tehuacán: Horizonte del Tiempo ,1 ,529.
- Iglesias.E., Monedero, V., Haros, M.(2015).El pan con harina de quinua entera y fitasas bifidobacterianas aumenta la ingesta de minerales en la dieta y la biodisponibilidad.Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Ciencia y Tecnología de Alimentos, 60,71 - 77
- INIAP. (2014). La riqueza oculta de las hojas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). In D. d. N. y. Calidad (Ed.): Quito.
- Kent, N.L., y Evers, A.D. (1994). *Technology of Cereals* (4th Edition). Great Britain: Woodhead Publishing.
- Konishi Y. y Yoshimoto N. (1989). “Amaranth Globulin as a Heat- stable Emulsifying amaranth (*Amaranthus cruentus*) grain by diferencial milling”. *Food Chemistry*,73(4),441-443.
- Lapasin, R. y Pricl, S. (1995). *Rheology of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications*.Blackie Academic and Professional, Cornwall, Great Britain
- Launay, B., (1990). A simplified nonlinear model for describing the viscoelastic properties of wheat flour doughs at high shear strain. *Cereal Chemistry*, 67 (1),25-31
- López, G., Bello, L., Paredes, O. (1994). *Amaranth Carbohydrates in Amaranth: Biology, Chemistry and Technology*. O. Paredes-López, ed. CRC Press: Boca Raton, FL, 107-131
- Magic Donut. (s.f.). *Historia De Las Donuts*. Recuperado El 13 De febrero, de 2019 de <http://www.magicdonut.com.ar/historia.htm>
- Mani, K., Eliasson, A., Lindahl, L., Tragardh, C. (1992). Rheological Properties and Breadmaking Quality of Wheat Flour Doughs Made With Different Dough Mixer, *Cereal Chemistry*, 69 (2) 222-225.

- Marcílio, R., Amaya, J., Ciacco, C.F. y Spehar, C.R. (2003). "Fracionamento do grão de *Amaranthus cruentus* brasileiro por moagem e suas características composicionais". *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, 23(3),511-516.
- Marky, L., Monteza, C., Núñez, M., Ordinola, K. (2015). *Diseño De Una Línea De Producción Para La Elaboración De Donas Nutritivas A Base De Harina Integral Y Frutas De La Región*. Tesis De Licenciatura. Universidad De Pírhua.
- Martin, L. (2017). 10 beneficios del arándano: perfecto para la dieta del deportista. Recuperado el 27 de enero de 2019, de https://as.com/deporteyvida/2017/04/23/portada/1492963638_228032.html.
- Martínez. E. y Jiménez. V. (2013). Taller de procesos tecnológicos de cereales del laboratorio de bioquímica y fisiología de granos. Recuperado el 20 de febrero del 2019,de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=29
- Martínez, L. (2012). Guía rápida de uso del Reómetro MCR 301 Physica
- Anton Paar. Documento interno LAPRYFAL, FES Cuautitlán, UNAM.
- Masi, P., Cavella, S., Sepe, M. (1998). Characterization of dynamic viscoelastic behavior of wheat flour doughs at different moisture contents, *Cereal Chemistry*, 75 (4),428-432.
- Mesas, J.M. y Alegre, M.T.(2002). El pan y su elaboración [versión electrónica] . *Ciencia y Tecnología Alimentaria*.Vol. 3(5),307-313.
- Mondal, A. y Datta, A. (2008). Bread baking – A review. [Journal of Food Engineering](#). [86\(4\)](#),465-474.
- Montero, K., Moreno, R., Molina, E., Segundo, M., Sánchez, A. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos [versión electrónica]. *Interciencia*, 40(7), 473-478.
- Muller, H. (1973). *Introducción a la Reología de los Alimentos*. Acribia, S.A. Zaragoza (España).
- NAS. 1975. Underexploited tropical plants with promising economic value. National Research Council. N. Y.
- National Academy of Sciences. (1975). *Underexploited Tropical Plants with Promising Economcs Value*. 2da. Edición. Washington. D.C. USA. 189 p.

- Navickis L.(1989). Rheological changes of fortified wheat and corn flour dough with mixing time. *Cereal Chemistry*, 66 (4),321-324.
- NMX-F-516-1992. Alimentos. Productos De Panificación. Clasificación Y Definiciones.
- Noelia. (2018). Donas caseras al horno. Recuperado 20 de febrero de 2019, de <https://www.lolitalapastelera.com/donas-caseras-al-horno/>
- NOM-147-Ssa1-1996, Bienes Y Servicios. Cereales Y Sus Productos. Harinas De Cereales, Semolas O Semolinas. Alimentos A Base De Cereales, De Semillas Comestibles, Harinas, Semolas O Semolinas O Sus Mezclas. Productos De Panificación. Disposiciones Y Especificaciones Sanitarias Y Nutrimientales.
- Nueva York. (2014). Los mejores donuts de Nueva York. Recuperado el 30 de enero de 2019, de <https://www.nuevayork.es/ocio/comer-restaurantes-nuevayork/los-mejores-donuts-de-nueva-york/>.
- Oszvald ,M., Tamás, C., Rakszegi , M., Tömösközi, S., Békés , L.(2009) Efectos de las albúminas incorporadas en las propiedades funcionales de la masa de trigo.
- Palomares, A. (2008). Manual de reología para el Laboratorio Experimental Multidisciplinario I. Tesis de licenciatura de Ingeniería en Alimentos. UNAM, Cuautitlán Izcalli, México.
- Peralta, E., Villacrés. E., Mazón. N., Rivera, M., Subía, C. (2008). El ataque sangorache o amaranto negro (*Amaranthus hybridus* L.) en Ecuador. Publicación Miscelánea NO.143, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador.
- Peryam, DR y Pilgrim FJ (1957). Método de escala hedónica para medir las preferencias alimentarias págs. 9-14 En: Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos. La metodología de las pruebas sensoriales. Contribución al Simposio IFT en Pittsburgh en Tecnología de Alimentos.
- Petrofsky, K. y Hosney R. (1995). Rheological characterization of dough made with starch and gluten from several cereal source. *Cereal Chemistry*, 72(1),53-58
- Pomeranz, Y. (1991). *Functional Properties of Food Components*, Second edition. Academic Press, Inc. Estados Unidos.
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2017). Encuesta sobre los hábitos de consumo de pan de dulce de harina de trigo. Recuperado el 30 de enero de

2019, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279977/Encuesta_sobre_los_habitos_de_consumo_de_pan_de_dulce_de_harina_de_trigo.pdf

- Quaglia, G. (1991). Ciencia Y Tecnología De La Panificación. Ed. Acribia, Zaragoza
- Quiroga, A; Martínez, E; Rogniaux, H. Geairon, A; Añón, M.(2009).Globulin-p and 11S-globulin from Amaranthus hypochondriacus,The Protein Journal, 28 (9–10) , 457.
- Ragaee, S., Guzar, I., Dhull, N., Seetharaman, K. (2011). Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. LWT - Food Science and Technology 44, 2147-2153.
- Ranjbar, A., Heshmati, A., Karami, M. J., Vahidinia, A. (2019). Effect of iron-enrichment on the antioxidant properties of wheat flour and bread. Journal of Cereal Science 87, 98–102.
- Rao, M. A., Steffe, J. F. (1992). Viscoelastic properties of foods. Elsevier Applied Science, Inglaterra.
- Rao, M.(1995). Rheological properties of fluid foods en Engineering properties of foods, Ed. Marcel Dekker , New York.
- Reguera , M., Y Haros, C. (2017). Estructura y composición de granos.M. Haros , R. Schoenlechner (Eds.) , Pseudocereales: Química y Tecnología (1st ed.) , John Wiley & Sons, Ltd , Oxford, Reino Unido, 28 - 48
- Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura, 89. (2009) 882 – 889
- Roach, R. y Hosney, R. (1995). Effect of certain surfactantson the starch in bread, Cereal Chemistry, 72 (6), 578-582
- Rodríguez, E., Fernández, A., Ayala, A. (2005). Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz Ingeniería e Investigación, 25(1), 72-78
- SAGARPA (2016). Trigo_Cristalino_y_Harinero. Recuperado el 20 De Febrero De 2019, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sico-Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf
- Salas, D. (2016). Características generales del trigo blando y trigo duro y para que se utiliza. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”
- Sanz, J., Wronkoswska, M., Soral, M., Haros, M. (2013). Effect of whole flour on bread properties and nutritive value. LWT-Food Science and Technology, 50,679-685

- Sanz, J., Wronkowska, M., Soral-Smietana, M., Collar, C.; Haros, M. (2010). Impact of the addition of resistant starch from modified pea starch on dough and bread performance. *European Food Research and Technology*.
- Schober, T., Clarke, C., Kuh, M. (2002). Characterization of functional properties of gluten proteins in spelt cultivars using rheological and quality factor measurements, *Cereal Chemistry*, 79(3),408-417.
- Schramm, G. (1994). *A Practical Approach to Rheology and Rheometry*. Haake, Alemania.
- Sites Mexico. (2013). Conoce La Historia Y Origen De Las Donas. Recuperado El 13 De febrero, De 2019, de [Http://Www.Sitesmexico.Com/Noticias/2013/08/Conoce-La-Historia-Y-Origen-Delas-Donas/](http://www.sitesmexico.com/noticias/2013/08/conoce-la-historia-y-origen-de-las-donas/)
- Slavin, J. (2007). *Los Cereales Integrales y la Salud*. Ciencias de los Alimentos y Nutrición-Universidad de Minnesota.
- Steffe, J. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* 2a. Ed. Freeman Press,USA.
- Talens, O. (s.f.). *Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Tejero, F. (1995). *Panadería Española*. (Vol.2). Ed. Montagud, Barcelona.
- Tosi, E., Ré, E., Lucero, H., Masciarelli, R. (2001). "Dietary fiber obtained from amaranth (*Amaranthus cruentus*) grain by differential milling". *Food Chemistry*, 73(4) ,441-443.
- UNE 87001-94. (1994). *Análisis Sensorial: Vocabulario*. Tomo I – Alimentación. Recopilación de Normas UNE. Ed. AENOR. Madrid. España.
- USWA, (1985a). Los ingredientes del pan su acción y su reacción, 1ª parte, revista del pan, 56-84.
- USWA. (1985b). Los ingredientes del pan su acción y su reacción, 2ª parte, revista del pan, mayo. 72.
- Vázquez, S., Guillén, R., Jaramillo, S., Jiménez, A., Rodríguez, R. (2012). *Funcionalidad De Distintas Variedades De Arándanos* [versión electrónica]. Recuperado 8 de marzo de 2019 de <https://previa.uclm.es/area/cta/cesia2012/cd/PDFs/4-BIO/BIO-P25T.pdf>

- Wang, C. y Kokini, J. (1995). Prediction of the nonlinear viscoelastic properties of gluten doughs. *Journal of Food Engineering*, 25,(3), 297-309.
- Wang, F. y Sun, X. (2002). Creep-recovery of wheat flour doughs and relationship to other physical dough tests and bread making performance. en *Cereal Chemistry*,79(4),567.571.
- Wang, F y Sun X. (2002). Creep-Recovery of Wheat Flour Doughs and Relationship to Other Physical Dough Test and Breadmaking Performance. *Cereal Chemistry*,79 (4), 567-571
- Wehrle K. y Arendt, E.(1998). Rheological changes in wheat sourdough during controlled and spontaneous fermentation. *Cereal Chemistry*, 75(6),882-886.
- Weipert, D. (1990). The Benefits of Basic Rheometry in Studying Dough Rheology. *Cereal Chemistry*. 64 (4),311-317