



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

CARACTERIZACIÓN DE MASAS ELABORADAS CON INULINA Y HARINAS DE AMARANTO Y TRIGO PARA EL DESARROLLO DE GALLETAS TIPO CRACKER

Claudia Constanza Cabezas Zabala

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá D.C., Colombia

2021

CARACTERIZACIÓN DE MASAS ELABORADAS CON INULINA Y HARINAS DE AMARANTO Y TRIGO PARA EL DESARROLLO DE GALLETAS TIPO CRACKER

Claudia Constanza Cabezas Zabala

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director:

Ph. D. Carlos Mario Zuluaga Domínguez.

Profesor Asistente

Facultad de Ciencias Agrarias

Codirector:

Msc. Jairo Lindarte Artunduaga

Maestro pastelero organización Ramo

Línea de Investigación:

Diseño y desarrollo de productos alimenticios

Grupo de Investigación:

AYNI – Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2021

A mi familia por su amor incondicional

*“Comer es una necesidad, pero comer de
forma inteligente es un arte.”*

La Rochefoucauld.

Agradecimientos

Agradezco especialmente al profesor Carlos Mario Zuluaga, quien motivo constantemente el desarrollo de este trabajo de grado; así mismo, contar con la participación del Maestro Pastelero Jairo Lindarte Artunduaga quien posibilitó la ejecución y análisis de los datos obtenido.

A la Universidad Nacional de Colombia mi alma mater por brindar los espacios de laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Planta de Vegetales, Laboratorio de Posgrados, Laboratorio de Análisis fisicoquímico y las aulas de clase donde día a día se consolidó el desarrollo de un producto funcional para este trabajo de grado.

A mi familia por guiarme con amor durante esta etapa de mi vida, quienes nunca me permitieron desfallecer y me animaron diariamente a continuar con el sueño de estudiar en la Universidad Nacional de Colombia.

A Camilo por brindarme su compañía, apoyo y amor incondicional.

Resumen

Título: Caracterización de masas elaboradas con inulina y harinas de amaranto y trigo para el desarrollo de galletas tipo cracker

El amaranto es un pseudocereal emergente rico en nutrientes esenciales tales como proteína y fibra, las cuales se emplearon como ingredientes en la formulación de galletas tipo *cracker* con el objetivo de evaluar el comportamiento reológico de la masa y la aceptabilidad sensorial del alimento. Se utilizó un diseño factorial completamente al azar con dos factores: (a) relación de harina de trigo (HT) y harina de amaranto (HA) empleada en la elaboración de la masa, en proporción 90:10 y 80:20 (% p/p) y (b) dos niveles de adición de inulina en niveles de 8.4% y 16.7% respecto a la harina, teniendo dos masas control elaboradas a partir de HA y HT, respectivamente. Inicialmente, se midieron las propiedades funcionales de las harinas mencionadas, las cuales no presentaron diferencias significativas en los índices de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento (SP), encontrándose en un rango de valores promedio entre 1.6625 y 1.8065 g/g; para IAA, así como 1.7484 y 1.8618 g/g para SP, respectivamente. En el caso de la HA se presentó la mayor capacidad de retención de agua (CRA) 8.41 ± 0.15 g/g y actividad emulsificante (AE) 74.63 ± 1.89 g/g. Por otra parte, el comportamiento reológico, medido a través del empleo del sistema *glutomatic*, farinógrafo, extensografo, mixolab e índice de caída, demostró que la mezcla que contenía 20% de amaranto y 16.7% de inulina tenía un comportamiento reológico similar al patrón elaborado a partir de harina de trigo exclusivamente, siendo ésta la seleccionada para la elaboración de las galletas. Para dicha formulación, el sistema *glutomatic* mostró un porcentaje de gluten húmedo 30.52% y gluten seco 10.21%, el análisis farinográfico un índice de tolerancia al mezclado de 11 UF, lo cual indica una masa fuerte; así mismo, la masa elaborada alcanzó una estabilidad en el mixolab de 6.47 min, lo que indica una buena resistencia al mezclado. Por otra parte, en la extensografía se obtuvo una resistencia de 637 UF y extensibilidad de 1340 mm, que corresponde a una masa fuerte, capaz de resistir el laminado y retener aire que favorecerá

la crocancia característica de la galleta; entre tanto, el índice de caída obtenido fue de 318 s siendo una buena actividad alifamilásica, y el porcentaje de almidón dañado presentado fue 9.15% indicando una buena calidad del almidón para la producción de la galleta cracker. Finalmente, una prueba de consumidores no mostró diferencias significativas en la evaluación del aroma entre el control y la formulación seleccionada, mientras que ésta última tuvo una calificación significativamente menor en sabor. No obstante, se observó una intención de compra del 70% entre la población encuestada. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten dar perspectivas para el uso a nivel industrial del amaranto en productos horneados. Adicionalmente, el amaranto ha sido un producto típicamente ligado a las poblaciones indígenas en los países andinos suramericanos, por lo que la búsqueda de alternativas de diversificación y empleo de este pseudocereal tiene un impacto en las condiciones sociales y económicas de tales comunidades. La versatilidad tecnológica y calidad nutricional del amaranto es una ventaja para los consumidores, favoreciendo el consumo de productos saludables con aportes importantes de fibra dietaria y proteína.

Palabras clave: amaranto, galletas *cracker*, pseudocereales, productos amasados, reología.

Abstract

Title: Characterization of doughs made with inulin and amaranth and wheat flours for the development of cracker-type biscuits

Amaranth is an emerging pseudocereal rich in such essential nutrients as protein and dietary fiber, which were employed as ingredients in the formulation of crackers, to evaluate the rheological performance and sensory acceptability of the obtained food. A completely randomized factorial design was used with two factors: (a) ratio of wheat and amaranth flour used in the preparation of the dough, in proportion 90:10 and 80:20 (% w/w) and (b) two levels of inulin addition of 8.4% and 16.7 % regarding flour, having two control doughs made from amaranth and wheat flour, respectively. Initially, the functional properties of the flours mentioned were measured, showing no significant differences in the water absorption capacity (WAC) and swelling power (SP), having mean values between 1.66 and 1.81 g/g for WAC and between 1.75 and 1.86 g/g for SP, respectively. The amaranth flour had the highest water holding capacity (WHR) of 8.41 ± 0.15 g/g and emulsifying activity (EA) of 74.63 ± 1.89 g/g. Moreover, the rheological behavior measured through the use of glutomatic system, farinograph, extensograph, mixolab, and falling index, showed that the formulation containing 20% of amaranth flour and 7.16% of inulin had a rheological behavior similar to the control produced exclusively with wheat flour, being this the one selected for the preparation of crackers. For this blend, the glutomatic system showed a percentage of wet gluten 30.52% and dry gluten 10.21% the farinograph a mixing tolerance index of 11 UF, indicating a strong and cohesive dough; likewise, the Mixolab showed dough reaches stability at 6.47 min, indicating a good resistance to mixing. On the other hand, the extensograph exhibited a dough resistance of 637 UF, as well as extensibility of 1340 mm, which corresponds to a strong dough capable of resisting lamination and retaining air to

enhance the crispness characteristic of *cracker*. Meanwhile, the falling index obtained was 318 s, being a good alpha amylase activity, and damaged starch percentage was 9.15% indicating a good quality of the starch for the production of the cracker cookie. Finally, a sensory consumer test did not show significant differences in the evaluation of aroma between the control and the selected formulation, while this latter had a significantly lower rating in flavor. However, a purchase intention of 70 % was observed among the population surveyed. The results obtained in this work give perspectives for the industrial use of amaranth in baked goods. Additionally, amaranth has been a product typically linked to indigenous populations in the Andean South American countries, therefore the search for diversification and alternatives of use for this pseudocereal has an impact on the social and economic conditions of such communities. The technological versatility and nutritional quality of amaranth is an advantage for consumers, favoring the consumption of healthy products with important contributions of dietary fiber and protein.

Keywords: amaranth, crackers, rheology, pseudocereals, kneaded products.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de Figuras	XIV
Lista de Tablas	XV
Lista de símbolos y abreviaturas	XVI
Introducción	1
Planteamiento del problema	4
Justificación	7
Objetivos	9
1. Capítulo 1: Marco Teórico	11
1.1 Productos horneados	11
1.1.1 Galletería	12
1.1.1.1 Galletas <i>cracker</i>	14
1.2 Ingredientes	16
1.2.1 Harina de trigo (HT)	16
1.2.2 Agua	20
1.2.3 Grasa	20
1.2.4 Levadura	22
1.2.5 Agentes leudantes	22
1.2.6 Sal	23
1.2.7 Fibra	24
1.2.7.1 Inulina	26
1.3 Amaranto	27
1.3.1 Harina de Amaranto (HA)	32
1.4 Aspectos tecnológicos en la evaluación de harinas	34
1.4.1 Propiedades funcionales	35
1.4.2 Reología	37
1.4.2.1 Farinógrafo	38
1.4.2.2 Extensograma	42
1.4.2.3 Mixolab	45
1.4.2.4 Índice de caída	49
1.4.2.5 Almidón dañado	51
1.4.2.6 Gluten húmedo y seco	52
2. Capítulo 2: Propiedades físico-químicas y reológicas de las harinas de trigo y amaranto	55
2.1 Materiales y métodos	55
2.1.1 Materiales	55
2.1.2 Métodos	56
2.1.2.1 Análisis proximal de las harinas de trigo y amaranto	56

2.1.2.2	Propiedades funcionales de las mezclas de harinas.....	59
2.1.2.3	Propiedades reológicas de las masas.....	61
2.1.2.4	Análisis Estadístico.....	64
2.2	Resultados y discusión.....	64
2.2.1	Análisis proximal de las harinas de trigo y amaranto.....	64
2.2.2	Análisis funcional de las harinas.....	69
2.2.3	Resultados análisis reológicos.....	73
2.2.3.1	<i>Farinografía</i>	73
2.2.3.2	<i>Extensografía</i>	76
2.2.3.3	<i>Mixolab</i>	78
2.2.3.4	<i>Índice de caída y almidón dañado</i>	83
2.2.3.5	<i>Gluten húmedo y seco</i>	85
2.2.4	Conclusiones.....	85
3.	Capítulo 3. Elaboración de galletas <i>cracker</i> a partir de la revisión de propiedades reológicas y funcionales.....	88
3.1	Metodología.....	88
3.1.1	Muestras.....	88
3.1.2	Formulación propuesta.....	89
3.1.3	Proceso de elaboración de las galletas.....	89
3.1.4	Aspectos físicos de la galleta terminada.....	92
3.1.5	Análisis de dureza y fracturabilidad.....	92
3.1.6	Prueba de consumidores.....	92
3.1.7	Balance de materia y etiquetado nutricional.....	92
3.1.8	Análisis estadístico.....	93
3.2	Resultados.....	93
3.2.1	Galletas elaboradas.....	93
3.2.2	Aspectos físicos de las galletas elaboradas.....	96
3.2.1	Análisis de dureza y fracturabilidad.....	97
3.2.2	Prueba sensorial.....	98
3.2.3	Balance de materia y etiquetado nutricional.....	100
3.2.4	Conclusiones.....	103
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	105
4.1	Conclusiones.....	105
4.2	Recomendaciones.....	106
A.	Anexo: Fichas técnicas materias primas.....	109
B.	Anexo: Análisis externos de las masas (<i>Farinografía</i> - <i>Mixolab</i> – <i>Extensografía</i>)	115
C.	Anexo: Formato análisis sensorial -Prueba Hedónica.....	135
		136
Bibliografía.....		137

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1-1 Galleta Soda Cracker- estándar. Fuente: (Davidson, 2019)	16
Figura 1-2 Estructura de la inulina GF _n . Fuente: (Shoaib <i>et al.</i> , 2016)	27
Figura 1-3 Semilla de amaranto en cortes transversales (A) y longitudinales (B). Fuente:(D'Amico & Schoenlechner, 2017).	29
Figura 1-4 Farinógrafo de Brabender. Fuente (TecnoSA, 2020b).....	40
Figura 1-5 Farinograma HT Adaptado de: Serna-Saldivar (2012)	41
Figura 1-6 (a) Extensografo Brabender Fuente: (TecnoSA, 2020a) - (b) Extensograma harina multipropósito. Adaptado de: Serna-Saldivar (2012)	43
Figura 1-7 Mixolab. Fuente: (Chopin, 2015)	45
Figura 1-8 Mixógrama harina estándar. Adaptado de: Dubat & Boinot (2012)	47
Figura 1-9 Perfil mixolab HT multipropósito. Adaptado de: Dubat & Boinot (2012)	49
Figura 1-10 Falling Number® de Perten-Hagberg. Fuente (Bakerpedia, 2019)	50
Figura 1-11 Sdmatic® Chopin Technologies. Fuente (Chopin, 2015)	52
Figura 1-12 Glutomatic System®. Fuente: (Perten Instruments, 1996).....	53
Figura 3-1 Elaboración de galletas tipo cracker método esponja – masa. Adaptado de: (Delcour & HoseneY, 2010).	91
Figura 3-2 Registro fotográfico esponja control y M4.....	94
Figura 3-3 Laminación masas	94
Figura 3-4 Registro fotográfico galletas cracker a) en lamina para corte y b) toma individual.....	95
Figura 3-5 Diagrama radial análisis sensorial	100
Figura 3-6 Tabla nutricional galleta M4	102
Figura 3-7 Tabla nutricional galleta control.....	103

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1-1 Especificaciones galleta <i>cracker</i> “ <i>saltine</i> ”	15
Tabla 1-2 Reportes de composición fisicoquímica harina de trigo	18
Tabla 1-3 Clasificación de las harinas según parámetros químicos y tecnológicos.	19
Tabla 1-4 Perfil de aminoácidos del amaranto	30
Tabla 1-5 Perfil de ácidos grasos amaranto	31
Tabla 1-6 Reportes de composición fisicoquímica harina de amaranto	33
Tabla 1-7. Clasificación de la harina de acuerdo a Farinograma	42
Tabla 1-8. Actividad enzimática en HT según su índice de caída.....	51
Tabla 2-1 Matriz diseño experimental	59
Tabla 2-2 Protocolo estándar Chopin+.....	63
Tabla 2-3. Resultados Análisis proximal.....	65
Tabla 2-4 Resultados propiedades funcionales.....	69
Tabla 2-5. Resultados farinografía	74
Tabla 2-6 Resultados extensografía.....	76
Tabla 2-7 Resultados Mixolab.....	79
Tabla 2-8 Resultados número de caída y almidón dañado.....	84
Tabla 2-9 Resultados Gluten húmedo y seco.....	85
Tabla 3-1. Formulación desarrollada de acuerdo a diseño experimental.....	89
Tabla 3-2 Dimensiones y humedad de las galletas elaboradas.....	96
Tabla 3-3 Resultados prueba hedonica a consumidores M4 y control.....	99
Tabla 3-4 Balance general de entradas y salidas.....	101

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
<i>AE</i>	Actividad Emulsificante	% mL/mL	Ecuación. 2-6
<i>CRA</i>	Capacidad de retención de agua	% g/g	Ecuación. 2-5
<i>CRAT</i>	Capacidad de retención de aceite	% g/g	Ecuación. 2-5
<i>Da</i>	Dalton	1	Unidad de masa atómica
<i>E</i>	Extensibilidad	Mm	Unidad de longitud
<i>h</i>	Horas	s	Unidad de tiempo
<i>ha</i>	Hectárea	m ²	Unidad de área
<i>IAA</i>	Índice de Absorción de Agua	g/g	Ecuación. 2-2
<i>ISA</i>	Índice de Solubilidad en agua	g/g	Ecuación. 2-3
<i>g</i>	Gramos	g	Unidad de masa
<i>kg</i>	Kilogramos	kg	Unidad de masa
<i>mm</i>	Milímetro	m	Unidad de longitud
$\mu\text{m.}$	Micrómetro	1×10^{-6} m	Unidad de longitud
<i>mPa.s</i>	Mega pascal por segundo	kg/m. s ²	Unidad de presión
<i>m.s.n.m</i>	Metros sobre el nivel del mar	msnm	Unidad de elevación
<i>Nm</i>	Newton Metro	<i>N.m</i>	Esfuerzo de torsión
<i>mL</i>	Mililitro	L	Unidad de volumen
<i>p/p</i>	Peso/peso	g/g	Fracción de masa
<i>R</i>	Resistencia	<i>N.m</i>	Esfuerzo de torsión
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto	1	Velocidad angular
<i>s</i>	Segundos	s	Unidad de tiempo
<i>SP</i>	Poder de Hinchamiento	g/g	Ecuación 2-4
<i>UF</i>	Unidad Farinográfica	<i>N.m</i>	Esfuerzo de torsión

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
α	Velocidad de debilitamiento de proteína	N. m/s	1
β	Velocidad de gelatinización del almidón	N. m/s	1
γ	Velocidad de degradación enzimática	N. m/s	1

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ENSIN</i>	Encuesta Nacional de la Situación Nutricional
<i>FDT</i>	Fibra Dietaria Total
<i>FDI</i>	Fibra Dietaria Insoluble
<i>FDS</i>	Fibra Dietaria Soluble
<i>HA</i>	Harina de amaranto
<i>HT</i>	Harina de trigo
<i>HMW</i>	High molecular weight (alto peso molecular)

Abreviatura	Término
<i>IC</i>	Índice de caída
<i>LDL</i>	Low density lipoprotein (Lipoproteína de bajo peso molecular)
<i>LMW</i>	Low molecular weight (bajo peso molecular)
<i>NTC</i>	Norma Técnica Colombiana
<i>TD</i>	Tiempo de desarrollo
<i>TE</i>	Tiempo de estabilidad
<i>%WA</i>	Porcentaje de absorción de agua

Introducción

La fibra dietaria es un grupo de polisacáridos no amiláceos y lignina, que no son digeridos o absorbidos en el intestino delgado, constituidos por diez o más unidades de monosacáridos; los cuales pueden ser fermentados en el intestino grueso y se encuentran asociados con efectos fisiológicos benéficos para la salud (FAO & WHO, 2009). Algunos de ellos están asociados al consumo de dietas ricas en fibra, se refieren a la disminución del colesterol y glucosa sérica; el mejoramiento del tránsito gastrointestinal (aumento de volumen y frecuencia), efecto prebiótico, prevención y tratamiento de cáncer, control del peso (aumento de la saciedad), entre otros, los cuales contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Jones, 2014; Mudgil & Barak, 2013; Spiller, 2001; Sungsoo & Dreher, 2001).

No obstante, y a pesar del potencial benéfico de la fibra dietaria, el consumo en Colombia para el año 2015 se encontró entre 15.7 g/día y 20.3 g/día (ICBF & FAO, 2015), siendo bajo con relación a la recomendación para mujeres y hombres entre 19 a 50 años aproximadamente de 25 a 38 g/día respectivamente (MSPS, 2016). A nivel mundial, el consumo de este nutriente también es bajo, en los Estados Unidos el promedio es de 17 g/día (McGill, Fulgoni, & Devareddy, 2015), y según el estudio de Elmadfa *et al.* (2006), pocos países de la Unión Europea alcanzan un consumo igual o superior a 25 g/día. La dieta de los colombianos es baja en alimentos ricos en fibra, es así que, sólo el 4.4% consumen diariamente cereales integrales, 9.6% verduras y hortalizas, 18.8% frutas enteras y 22% frutas en jugo. En contraste, el 92.5% de la población consume diariamente cereales como arroz o pasta y el 76.1% pan, arepa o galletas (MSPS, 2011). Cabe resaltar que estos alimentos en su mayoría son bajos en fibra, ricos en carbohidratos y en algunos casos se encuentran adicionados con grasas sólidas (Dalglish *et al.*, 2010). Sin embargo, McGill *et al.* (2015), evidenciaron que, en los Estados Unidos para la población de niños y adolescentes, los mayores aportes de granos enteros y fibra se asociaban al consumo de *snacks* como galletas *crackers* y galletas saladas, aportando más del 20% del consumo de fibra por día en la población. Es evidente que dentro de las tendencias en alimentación han

aumentado considerablemente el consumo de *snacks*, los cuales son: “*productos fáciles de manipular, constituidos en porciones individuales, que no requieren preparación y satisfacen el apetito en corto plazo*” (MSPS, 2011).

Para el año 2010, en la ENSIN, el 15% de población consumía diariamente *snacks* al menos una vez por día. Tendencia que se mantiene como lo afirma Kahlon, Avena-Bustillos, & Chiu (2016), manifestando que más de un tercio de la población estadounidense prefiere el consumo de *snacks* en vez de comidas principales, en este mismo estudio se afirma que adoptar el consumo de *snacks* saludables en edades tempranas podría prolongar la expectativa de vida. Mir, Bosco, & Shah (2018) investigaron las propiedades tecnológicas y nutricionales de *snacks* elaborados con diferentes concentraciones de harina de arroz integral y castañas como fuente de fibra, encontrando una potencial aceptación por los consumidores encuestados; así mismo, Gupta & Bhattacharya (2017) desarrollaron *snacks* inflados, libres de gluten, con amaranto, mijo, sorgo y garbanzo; el *snack* de amaranto presentó un color rojizo brillante, buena porosidad y aceptación general por los consumidores.

En la actualidad, se presenta un aumento en la producción de *snacks* saludables, caracterizados por ser ricos en fibra y proteína; por esto, los pseudo cereales como la quinoa y el amaranto han sido de gran interés para su estudio, dado que son libres de gluten, aportan una mayor cantidad de proteína y fibra con relación a algunos cereales (Nascimento *et al.*, 2014). En particular, la producción mundial de amaranto se encuentra en aumento, los rendimientos en América Latina son entre 4600 kg/ha a 7200 kg/ha (Santra & Schoenlechner, 2016); el grano de amaranto en comparación con algunos cereales tiene un mayor aporte de proteína y fibra (Belton & Taylor, 2002), lo cual lo hace una excelente opción para incluir en las formulaciones de los productos horneados. Se ha incorporado la quinoa, amaranto y chía en las formulaciones de productos de panadería, encontrando buena aceptación sensorial y poca alteración en sus características tecnológicas (Azaiza, Ruiz, & Elizalde, 2010; Liu, Chen, & Xu, 2019; Machado Alencar, Joy Steel, Dutra Alvim, Carvalho de Morais, & Andre Bolini, 2015). Cabe resaltar que el cultivo de pseudocereales se encuentra en crecimiento, en Colombia el amaranto se siembra en las zonas andinas, principalmente en Nariño y Boyacá; tanto el amaranto como la quinoa han sido catalogadas como parte de las 21 semillas resistentes al cambio climático con una producción y consumo creciente en América Latina (Rojas, Alandia, Irigoyen, Blajos, & Santivañez, 2011).

Así las cosas, el campo de investigación y desarrollo de productos horneados los cuales contengan sustituciones parciales de harina de trigo e incluyan fibra soluble, aumentan la oferta de productos saludables para la población colombiana; aunado a lo anterior, las galletas tipo cracker son consideradas *snacks* saludables al tener en sus formulaciones bajo contenido de sal, azúcar y moderado contenido de grasa (Herath, Rupasinghe, Priyangani, & Silva, 2018). Estas galletas son elaboradas con harina de trigo y requieren una fermentación, un proceso de laminado y un horneado (Cauvain & Young, 2006). Para lograr que una masa sea laminable, se deben considerar características en la masa, como elasticidad y resistencia, para los cuales existen diferentes métodos instrumentales para la medición de estas características tales como: farinógrafo, extensógrafo y mixógrafo. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizó una evaluación del efecto de la mezcla de harina de amaranto (*Amaranthus spp.*) y fibra soluble con harina de trigo multipropósito para el desarrollo de galletas tipo *cracker*, considerando su potencial comercial como un producto rico en fibra y una opción en el mercado para el consumo de la harina de amaranto. Este trabajo de maestría contó con el apoyo financiero de la *Convocatoria para el Apoyo a la Financiación de Proyectos de Tesis para Fortalecer y Consolidar los Programas de Doctorado y Maestría de la Facultad de Ciencias Agrarias, Sede Bogotá*; por otra parte, se lograron análisis de extensografía, mixolab y farinografía, para las mezclas planteadas gracias al apoyo de la organización *Ramo S.A.S.* Frente a los aportes dietarios de la fibra y la riqueza nutricional del amaranto (*Amaranthus spp.*), este trabajo plantea la evaluación tecnológica de diferentes inclusiones de inulina y mezclas de harina de trigo con este pseudocereal, aplicadas a una formulación de una galleta cracker.

Planteamiento del problema

En Colombia se ha evidenciado un cambio en los hábitos alimentarios de la población, acompañado de una doble carga nutricional, puesto que existen grupos poblacionales con problemas de pobreza, desnutrición y a su vez más del 50% de la población presenta sobrepeso y obesidad (Fonseca, Ayala, Uribe, & Castaño, 2014; Herrán, Bermúdez, & Zea, 2020). Lo anterior se asocia a un aumento en el consumo de alimentos con una mayor densidad energética, bajos en fibra y ricos en carbohidratos, entre ellos se encuentran los *snacks* y comidas rápidas (Dalglish *et al.*, 2010); por ejemplo, para 2010 el 15% de la población consumía estos productos al menos una vez al día, y de manera contrastante diariamente sólo el 4.4% consumía cereales integrales, 9.6% verduras y 18.8% frutas enteras (MSPS, 2011). Por lo tanto, la ingesta diaria de alimentos ricos en fibra es baja y no se logra cubrir la recomendación para este nutriente de 25g/día por persona (MSPS, 2011). Estas tendencias en la alimentación favorecen el sobrepeso y la obesidad, el 56.4% de la población colombiana entre los 18 a 64 años presenta exceso de peso, 37.7% tienen sobrepeso y 18.7% son obesos (MSPS, 2017). Esta condición se asocia a enfermedades no transmisibles como cardiopatías y accidentes cerebrovasculares, las cuales para 2019 fueron la principal causa de muerte en el mundo, también enfermedades degenerativas como la artrosis y algunos tipos de cáncer incluidos endometrio, mama, ovario, próstata, hígado, vesícula biliar, riñón y colón (WHO, 2020; Yanez, Useche, Bayona, Porras, & Carrasquilla, 2020).

Una de las alternativas para contribuir a la mejora de esta situación alimentaria es el desarrollo de alimentos tipo *snacks* con características funcionales, por ejemplo, aquellos que han sido enriquecidos con ingredientes como salvado, semillas y granos ancestrales, tienen un mayor aporte de fibra, proteína y ácidos grasos insaturados. En Estados Unidos, la población de niños y adolescentes presentan un mayor consumo de granos enteros y fibra gracias a la ingesta de *snacks* como galletas crackers, dado que aportan más del 20% de fibra recomendada por día (McGill *et al.*, 2015). Siendo así para la harina de los granos ancestrales como el amaranto se han encontrado diferentes desarrollos en alimentos funcionales con el fin de enriquecerlos nutricionalmente. Machado-Alencar *et al.* (2015) elaboraron panes libres de gluten con edulcorantes y harinas de amaranto, yuca, papa, arroz y maíz; donde se encontró que adicionar 10g/100g o más de harina de amaranto en los panes aumenta significativamente la proteína, grasa y ceniza, disminuyendo el contenido de carbohidratos del producto terminado, también favorece el volumen de la

miga y confiere un leve sabor amargo en estos panes. Banerji *et al.*(2018) desarrollaron *chapatti* pan tradicional hindú, con una sustitución de hasta el 50% de harina de amaranto, reportando un aumento en la digestibilidad de la proteína; así como un mejor aporte de lisina, grasa y minerales (hierro, calcio y magnesio), respecto a las características reológicas de la masa afirman que es una sustitución del 40% es adecuada para el desarrollo y su aceptación sensorial. El uso de la harina de amaranto como alternativa para enriquecer productos amasados, en sustituciones entre 10%– 20% se ha estudiado en diferentes productos como panes, galletas, tortas y pasta, con el fin de incrementar su uso comercial y aprovechar las ventajas agronómicas de este cultivo frente al cambio climático (Chauhan, Saxena, & Singh, 2016; Coțovanu, Stoenescu, & Mironeasa, 2020; Sindhuja, Sudha, & Rahim, 2005).

En Colombia mediante la Ley 1355 (2009) y la Ley 333 (2011), se ha reglamentado la publicidad, etiquetado, comercialización y venta de alimentos procesados, por esto la demanda de alimentos funcionales se encuentra en aumento, dado que los consumidores están más informados y buscan incluir en su alimentación productos que aporten un mayor beneficio nutricional y sean fáciles de consumir, almacenar y llevar. Respecto a esta demanda la industria de alimentos encuentra diferentes retos tecnológicos dado que, al sustituir parcial o totalmente por ejemplo la harina de trigo, se disminuye la cantidad de gluten en la masa, por tanto sus propiedades viscoelásticas se ven afectadas; Rustemova *et al.* (2020) estudiaron las propiedades reológicas de masas para pan de jengibre con una sustitución de 15% de harina de amaranto, reportando un aumento de 4.5 veces en la retención de agua, disminuye la elasticidad y el tiempo de amasado; afirmando que los panes obtenidos tenían una miga más suave con mayor volumen. En un estudio de optimización del tamaño de partícula y grado de sustitución de harina de amaranto para masas, se emplearon intervalos entre 5% al 20%, mediante el índice de caída se evaluó la actividad de α -amilasas y en el mixolab el desempeño de la masa, en el afirman que con una sustitución de 9.74% y tamaño de partícula de 280 μm se logra un adecuado desempeño de la masa(Coțovanu, Stoenescu, Mironeasa, 2020). En el caso de productos libres de gluten Paux & Rosentrater (2018) desarrollaron pastas libres de gluten con una formulación de 12% de clara de huevo, 60% de harina de maíz, 30% de harina de sorgo, 10% de harina de amaranto, 2.4% de goma guar y 36% de agua; indicando que esta fue la mejor puntuada por un panel sensorial no entrenado, destacando el color y reporta

disgusto por la textura granular y quebradiza, estas pastas elaboradas presentaron unos mayores beneficios nutricionales con relación al control.

En este trabajo de grado se desarrolló un producto tipo galleta *cracker* que tiene una calidad nutricional diferencial, dado que incluye la harina de amaranto la cual contiene, más fibra, proteína de alto valor biológico, mayor contenido de ácidos grasos insaturados, minerales y antioxidantes; lo anterior califica al producto como funcional y adicionalmente se agregó inulina, una fibra soluble prebiótica, que mejora la salud intestinal del consumidor. Esto con el fin de ampliar la oferta de productos funcionales que incluyan harina de amaranto lo que permita incentivar el consumo en la población general.

Justificación

El consumo de dietas ricas en fibra tiene efectos fisiológicos benéficos en el tracto gastrointestinal. Clemens (2015) reporta que la fibra puede prevenir enfermedades como hemorroides, y disminuir la prevalencia de enfermedades crónicas como cáncer colorrectal, de próstata y de seno. Sungsoo & Dreher (2001) relacionan efectos positivos para el control del peso, la prevención de enfermedades cardiovasculares, la disminución del perfil lipídico e índice de glucosa en sangre.

Las nuevas tendencias en alimentación han impulsado a la industria de alimentos para que desarrollen productos saludables y con las mismas características sensoriales de los tradicionales. Los avances tecnológicos y la investigación han permitido la adición de compuestos como fibra, ácidos grasos insaturados, vitaminas y oligoelementos en matrices alimentarias diversas (Farinazzi-Machado *et al.*, 2012). También se ha permitido la incursión de nuevos ingredientes como leguminosas, pseudocereales y semillas, que han sido estudiadas por sus propiedades benéficas para la salud (Horstmann *et al.*, 2019; S. Liu *et al.*, 2019; Martínez-Villaluenga, Peñas, & Hernández-Ledesma, 2020).

En particular, el amaranto es un pseudocereal nativo de la región andina y cultivado desde hace más de 4000 años, su consumo se encuentra en aumento puesto que su perfil nutricional contiene aminoácidos esenciales, ácidos grasos insaturados, mayor contenido de proteína y fibra en comparación con los cereales (D'Amico & Schoenlechner, 2017), además esta semilla es resistente a climas y condiciones del suelo extremas (Venskutonis & Kraujalis, 2013), con rendimientos prometedores de 7200 kg/ha para América central y del sur, 6700 kg/ha para Europa y 2500 kg/ha para África (Alemayehu, Bendevis, & Jacobsen, 2015). Incluir en la alimentación diaria los pseudocereales diversifica el aporte nutricional de la dieta favoreciendo el balance de nutrientes, es por esto que se han desarrollado estudios donde se incluye el amaranto en productos de alta demanda como los *snacks* (Gupta & Bhattacharya, 2017; Joshi *et al.*, 2018; Mir *et al.*, 2018).

Los *snacks* son consumidos por la población al menos una vez al día y aportan entre el 21% al 24% de las calorías diarias, esto se debe a que muchas de sus formulaciones son altas en grasa, carbohidratos y sodio (Myhre, Løken, Wandel, & Andersen, 2015); por este motivo, el 43% de la población ha cambiado su preferencia a alimentos que son etiquetados como funcionales entre su misma categoría, esto se asocia a una mayor disponibilidad en el mercado y al cambio progresivo en los estilos de vida de la población

(Nielsen,2018); entre la categoría de saludables se encuentran las galletas tipo *cracker* ya que su formulación presenta un bajo contenido de sal, azúcar y moderado contenido de grasa (Herath *et al.*, 2018). La venta de galletas dulces y *crackers* a nivel mundial fue de 93.05 mil millones de dólares para 2014 con una proyección para 2024 de 157.14 mil millones de dólares (Williams & Marshall Strategy, 2020), es decir que este mercado se encuentra en crecimiento posibilitando el desarrollo de productos con propiedades funcionales, que contengan pseudocereales y aporten un mayor beneficio en nutrición para los consumidores. Sin embargo, los consumidores prefieren las características sensoriales y el bajo costo, en vez de la calidad nutricional de los *snacks* (Ferreira *et al.*, 2009). Por lo tanto, se encuentra un reto tecnológico, para el desarrollo de *snacks* saludables que conserven características sensoriales agradables al consumidor.

Este trabajo tiene como fin el desarrollo de una galleta cracker con harina de amaranto y fibra soluble, mediante la evaluación de los efectos de la sustitución de harina de trigo por harina de amaranto y adición de inulina en sus propiedades funcionales y reológicas, para obtener un producto buena fuente de fibra con un adecuado perfil sensorial; esto aumenta los usos de la harina de amaranto en el área de la industria de alimentos ya que se conocen sus propiedades de elasticidad, tenacidad, extensibilidad y rigidez, así mismo aumenta la oferta de productos que contienen pseudocereales y son buena fuente de fibra, contribuyendo a la salud de los consumidores.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de la inclusión de harina de amaranto (*Amaranthus spp.*) e inulina en las características fisicoquímicas y sensoriales de las galletas tipo *cracker*.

Objetivos específicos

- Identificar las propiedades nutricionales de las harinas de trigo y amaranto mediante análisis proximal, las cuales serán utilizadas para el desarrollo de una galleta tipo cracker.
- Establecer el efecto en las propiedades funcionales y reológicas de las mezclas harina de trigo, harina de amaranto e inulina con el fin de identificar la mejor formulación para la elaboración de galletas tipo cracker.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1 Productos horneados

Los productos horneados son preparados principalmente con harina de cereales como trigo, maíz, avena, centeno, sorgo y pseudocereales quinua o amaranto; sus formulaciones contienen: agua, levadura, sal, azúcar, adición de grasa sólida o aceite, entre otros ingredientes. En su mayoría, son sometidos a cocción a temperaturas altas, algunas veces mediante aire seco, este tipo de cocción confiere texturas crocantes, suaves y esponjosas típicas de estos productos (Cauvain & Young, 2006; Fellows & Hampton, 1992). Por otra parte, los productos horneados a base de cereales se pueden categorizar en panes, tortas, galletas, pastas y *snacks*; algunos de ellos pueden ser leudados por levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y otros por agentes químicos (Serna-Saldivar, 2010). Entre los subproductos a base de cereal se encuentran los extruidos y cereales para el desayuno, los cuales se diferencian con los productos de panificación en su practicidad para el transporte, empaque, almacenamiento y algunos casos por su bajo costo. Los alimentos considerados como *snacks* son consumidos entre comidas principales (desayuno, almuerzo o cena) por la población general (Hoque, Kamaluddin, Abdul, Athari, & Wahid, 2016).

Por otra parte, las formulaciones tradicionales de productos horneados son ricas en azúcares, carbohidratos, sal y grasa (Hess & Slavin, 2018). Por lo cual, se han hecho intentos por el desarrollo de *snacks* más saludables, por ejemplo, Kumar *et al.* (2018) incluyeron quitosano como fuente de fibra en tres concentraciones diferentes 1%, 2% y 3% (p/p) a un *snack* extruido que como ingredientes base tenía harina de maíz y arroz en proporción 70:30, el efecto encontrado fue la reducción del índice de expansión, crocancia y dureza en el extruido con quitosano al 2% y 3%; es decir que la adición de 1% no presentó diferencias significativas con el control. Otro caso de inclusión de ingredientes con características funcionales ha sido la adición de harina de castaña realizada por Mir *et al.*

(2018) a productos declarados libres de gluten, encontrando que una mezcla al 40% harina de castaña y harina de arroz *brown* dando como resultado productos de alta calidad sensorial. Así mismo, Codinã *et al.* (2019) adicionaron harina de linaza de dos variedades *Golden* y *Brown*, a formulaciones de panes con harina de trigo en sustituciones de 5%, 10%, 15% y 20%, encontrando que la calidad sensorial se mantuvo hasta un nivel de sustitución del 15%.

Las grasas son de gran importancia en el desarrollo de productos horneados, dado que proporcionan características reológicas, nutricionales y sensoriales en los productos terminados, también son un medio de transferencia de calor, mejoran la textura de los productos y aportan sabores deseables; sin embargo, generan productos intermedios durante la oxidación lipídica potencialmente carcinogénicos como la acrilamida o la glicidamida (Claus, Carle, & Schieber, 2008; Gökmen, 2016). En este sentido, Difonzo *et al.* (2018) emplearon un extracto de hojas de oliva como agente antioxidante, dado su alto contenido de compuestos polifenólicos, a una formulación de palitos de pan con harina de trigo, aceite de oliva extra virgen, vino blanco y sal, como resultado el extracto redujo en un 27% la formación compuestos volátiles y 42% en oligopolímeros de triglicéridos con relación al control, también mejoró el perfil sensorial de los palitos de pan. Entre tanto Li, Hou, & Chen, (2016) realizaron ensayos con galletas *cracker* compuestas por harina de cebada integral, harina de trigo y tres tipos de gomas Guar, Xantan y Arabica en proporciones 0.5%, 1.0% y 2.0%, con el fin de mejorar el perfil nutricional de las galletas, encontrando que la goma guar brindó beneficios en la calidad del horneado de las galletas *cracker* fortificadas.

Así las cosas, la inclusión de ingredientes funcionales en productos horneados, es promisoría, debido a las ventajas sensoriales reportadas en las investigaciones y los beneficios nutricionales que conlleva la adición de nutrientes como fibra, grasas saludables y disminución del aporte de calorías del producto para los consumidores finales.

1.1.1 Galletería

Las galletas son un alimento elaborado a partir de harina de trigo, agua, grasa o aceite, sal, azúcar, huevo, agentes leudantes, entre otros (Manley, 2001). Estas son consumidas como meriendas o hacen parte del desayuno (MSPS, 2011); entre ellas existen cuatro categorías: galletas *crackers*, galletas duras, galletas semidulces y galletas de masa corta

que se diferencian por sus formulaciones y proceso de elaboración (Davidson, 2019). En la normatividad colombiana la NTC 1241 (ICONTEC, 2007b) las galletas se clasifican de la siguiente manera:

- Galletas saladas rellenas o no
- Galleta cubierta rellena o no
- Galleta de masa fermentada rellena o no
- Galleta dulce rellena o no
- Obleas, conos y barquillos rellenos o no
- Galleta *Waffer* rellena o no

Las galletas antes del horneado son moldeadas y dispuestas en su forma final, por lo tanto, se definen diferentes métodos de elaboración, los cuales dependen de las características de la masa, los ingredientes y los equipos utilizados.

- Mediante el equipo de cortado por unidades, se desarrollan galletas semi- dulces, crackers y galletas duras, que tienen forma, tamaño e impresión característica en la superficie. El proceso consiste en hacer pasar la masa por tres o cuatro rodillos que disminuyen el grosor de la masa en un 50% cada uno, hasta lograr un espesor final entre 0.75 a 2.5 mm (Davidson, 2019) debido al estrés que ha sufrido la masa se realiza un proceso de relajación de la masa. Posteriormente la masa se corta de acuerdo a los diseños y la masa sobrante se reprocesa. Por último, se adicionan ingredientes en la superficie como sal, azúcar o huevo antes del horneado (Cauvain & Young, 2006; Manley, 2011).
- El proceso de laminado involucra la compresión continua de la masa, hasta lograr una capa de espesor definido; para su desarrollo se requiere de una serie de rodillos, los cuales se encuentran dispuestos a diferentes calibres, permitiendo que durante el proceso se logre una lámina lo suficientemente delgada para obtener características sensoriales propias. Antes del horneado, la lámina es cortada de acuerdo con el molde final de la galleta, las galletas *cracker* o *satiné* se producen con este método (Cauvain & Young, 2006; Davidson, 2019; Manley, 2011).

- El moldeo rotatorio, es empleado para la producción de galletas de masa suave y masa corta nombradas como colaciones; permite el desarrollo de diferentes formas para las galletas. El proceso consiste en suministrar desde la tolva, un volumen específico al molde rotatorio; la masa pasa a través de los rodillos, uno de ellos presiona la masa en los moldes, la cual, es cortada por un cuchillo raspador. Debajo se ubica un rodillo de presión que tiene una superficie de goma dura; la banda de extracción soporta y presiona la masa sobre el rollo de moldeo; así las piezas de masa se adhieren a la banda y se extraen de los moldes para su posterior horneado (Cauvain & Young, 2006; Davidson, 2019; Manley, 2011).
- Para las formulaciones que presentan una masa suave, alta en grasa o tienen trozos grandes que no pueden pasar por un molde rotatorio se hace necesario que se depositen directamente en la bandeja de horneado, este proceso es denominando depósito y corte de alambre, el cual consiste en hacer pasar la masa por un extrusor, el dado es el encargado de conferir la forma a la galleta, este proceso es suave y luego que la masa pasa por el dado es cortada por un alambre. Se presentan variaciones cuando se desean galletas con forma de “tornado”, las cuales son depositadas en la bandeja en un volumen definido para ser horneadas, las galletas con chips y panderos se producen con este método (Cauvain & Young, 2006; Davidson, 2019; Manley, 2011).

1.1.1.1 Galletas cracker

Las galletas *cracker* son consideradas un híbrido entre pan y galleta, ya que en su producción se requiere un pre fermento con levadura y parte de los ingredientes llamado “esponja”, el cual tendrá un desarrollo de 12 h a 24 h, para luego ser mezclado con los demás ingredientes; en el caso de las galletas “*satine*” también se adiciona soda, la masa se deja en reposo 2 horas más antes de iniciar el proceso de laminado, el cual consiste en hacer pasar la masa por rodillos cada vez más finos hasta lograr un grosor de aproximadamente 12 mm, luego se perfora la masa y se corta en rectángulos antes del horneado; las temperaturas de horneado varían entre 200°C a 250°C durante 5.5 minutos (Davidson, 2019; Li, Hou, & Chen, 2013; Manley, 2011). El proceso de elaboración inicia con la mezcla de harina de trigo, agua y levadura para la formación

de la esponja; la cual se fermenta a una temperatura entre 28°C a 35°C con humedad relativa del 85% (Davidson, 2019), la esponja contiene entre 60% a 65% de los ingredientes (Delcour & Hosney, 2010), durante la fermentación se desarrollan los sabores y acidez típica de la galleta *cracker*; de esta manera, la esponja que tiene un pH cercano a 7 durante su desarrollo puede disminuir hasta un valor de 4.2 logrando en la masa final un pH entre 5 a 6; cuando se mezcla la esponja con los demás ingredientes, la masa total retorna a un pH de 7.0 a 7.4. Es por esto que la masa se ajusta a un pH cercano a la neutralidad con bicarbonato de sodio; nuevamente la masa se deja en reposo durante 2 a 5 h antes de moldear. La masa fermentada atraviesa rollos laminadores de diferentes calibres con el fin de gradualmente laminar a unos 2–3 mm, este proceso es esencial para la textura final de la galleta (Serna-Saldivar, 2012). En la Tabla 1-1 se muestran las especificaciones de una galleta *cracker* (Davidson, 2019).

Tabla 1-1 Especificaciones galleta *cracker* “*saltine*”

Parámetro	Valor
Tipo de trigo	Hasta un 30% de trigo duro, en mezcla con trigo suave.
Contenido de Proteína (N x 5.7) Esponja	9.0 % a 11.0 %
Contenido de Proteína (N x 5.7) Masa	8.0% a 9.0%
Humedad	2.5% ± 0.5%
pH	7.2 - 8.0
Dimensiones	91 mm x 44 mm
Grosor	5.6 mm
Peso	6.25 g
Apariencia	Ampollas en la superficie uniformes.
Color	Cre moso- pálido con ampollas más oscuras, espaciadas de manera uniforme.
Textura	Abierto y escamoso, al morder se siente crujiente
Sabor	Fermentado suave

Adaptado de: (Davidson, 2019)

En la Figura 1-1 se observa una galleta *cracker* tradicional, durante la fermentación y laminación de la masa se obtienen las características de textura abierta y escamosa y el horneado rápido contribuye a la crocancia y a las pequeñas ampollas más doradas observadas.

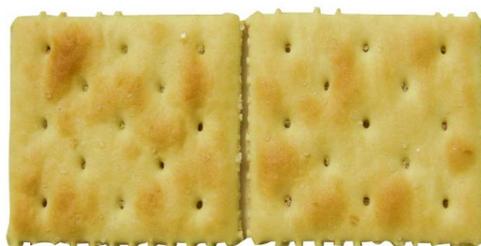


Figura 1-1 Galleta Soda Cracker- estándar. Fuente: (Davidson, 2019)

1.2 Ingredientes

En la elaboración de galletas el ingrediente principal a utilizar es la harina de trigo, con base en esta se expresan en diferentes porcentajes los demás ingredientes como agua, grasa, sal, bicarbonato de sodio, bicarbonato de amonio, enzimas, azúcar, entre otros. Por lo tanto, es indispensable describir cada uno de ellos y así conocer las propiedades nutricionales y tecnológicas que aportan a la formulación de galletas *cracker*.

1.2.1 Harina de trigo (HT)

El ingrediente principal de las galletas es la harina de trigo (HT); producto de la trituration o molienda de granos de trigo común, *Triticum aestivum L.*, o trigo ramificado, *Triticum compactum Host.*, o combinaciones de ellos, para su obtención el grano se separa de parte del salvado y del germen, el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura (CODEX, 1995). El grano de trigo entero consiste en salvado (12%), que es la cáscara externa; endospermo, el centro blanco (85.5%); y el germen (2.5%). Se reconocen dos tipos principales de harina: integral y refinada. Para producir la primera se tritura el grano de trigo mediante molienda de piedra, o se obtiene por fresado de rodillos, consistiendo en una serie de pasos de trituration y tamizado, donde la separación del salvado y el endospermo del grano está optimizado, recombinando las fracciones para producir la harina integral. En el caso de la producción de harina refinada se elimina la totalidad del salvado recuperando únicamente el endospermo (Cauvain & Young, 2006).

La harina de trigo está compuesta mayoritariamente por carbohidratos, proteínas y grasas, en la Tabla 1-2 se observan reportes del contenido de estos nutrientes; el proceso de molienda disminuye de manera significativa el aporte de fibra, cenizas, oligoelementos y vitaminas que se encuentran principalmente en el pericarpio (Serna-Saldivar, 2010). El

principal carbohidrato presente en la harina de trigo es el almidón, con una relación de amilosa - amilopectina entre 25% a 28% para amilosa y 72% a 75% para amilopectina (Alcázar-Alay & Meireles, 2015), esto se relaciona con la gelatinización y retrogradación del almidón ya que la gelatinización depende en gran parte de la cantidad de amilosa presente en el almidón, este fenómeno aumenta la viscosidad de la dispersión, la mayoría de gránulos de almidón se rompen y forman una red de cadenas entrelazadas de amilosa con amilopectina, al enfriarse se obtiene un gel, si la fase de amilosa es continua se formará un gel duro (Bonomi, Ferranti, & Mamone, 2014). La retrogradación inicia desde el enfriamiento del gel de almidón, esta depende del tipo de cereal, la estructura de la amilopectina y la relación amilosa: amilopectina (ILSI, 2018). La retrogradación sucede en dos etapas primero la formación de regiones cristalinas de amilosa retrograda y luego la organización de la amilopectina en estructuras rígidas, esto causa el envejecimiento del pan e inestabilidad en el almidón en la pasta (Miranda-Ramos, Sanz-Ponce, & Haros, 2019).

Entre las proteínas la gliadina y la glutenina, representan un 80% del total presente en la harina de trigo; las fracciones del gluten tienen una función tecnológica al aportar elasticidad y viscosidad a la masa; es así que las gliadinas hidratadas contribuyen a la viscosidad y extensibilidad, mientras que las gluteninas hidratadas son cohesivas, elásticas y dan fuerza a la masa (Wieser, 2007; Xu, Wang, & Li, 2019), el gluten en la masa forma una malla de fibras que constituyen su estructura; la cual depende de la naturaleza y número de las fibras. Durante el amasado se reorganizan los puentes disulfuro y enlaces hidrofóbicos de las proteínas, generando interacciones proteína-proteína, entre regiones expuestas a la superficie, así se facilita la hidratación del gluten y del gránulo de almidón, a medida que continua el amasado, se incorpora aire a la matriz y a su vez se forma una emulsión entre estos componentes, esta puede ser suave o fuerte; cuando las masas se dejan en reposo durante la fermentación la levadura produce CO₂, el cual es retenido por el gluten. (Delcour et al., 2012; Ling Chin & J. Martin, 2014). Inicialmente la harina se encuentra seca y sus componentes en estado compacto, cuando se procesa se adiciona agua generando interacciones entre las proteínas, el almidón y el agua; por ejemplo, las proteínas y los polisacáridos sin almidón son los primeros compuestos que absorben el agua añadida, entonces si existen residuos de glutamina en las gliadinas y gluteninas se minimiza la interacción entre ellas y el agua; así mismo la prolina previene la formación de estructuras proteicas secundarias y terciarias dentro de las proteínas del gluten, lo que

proporciona una estructura flexible a la masas (Bonomi et al., 2014). Durante la mezcla y amasado, el gluten sufre modificaciones estructurales, las cuales depende de la energía aplicada, equipos utilizados y componentes que interactúen como mantecas, sal, enzimas, compuestos oxidativos (Huschka, Bonomi, Marengo, Miriani, & Seetharaman, 2012; Mariotti, Lucisano, Pagani, & Iametti, 2008).

Tabla 1-2 Reportes de composición fisicoquímica harina de trigo

Origen Botánico	Humedad (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Ceniza (%)	Fibra (%)	CHO (%)	Referencia
<i>T. aestivum</i> L HRW	11.54	10.46	0.98	0.55	0.87 ^b	-	(Tömösközi et al., 2011)
<i>T. aestivum</i> L HRW	16.5	12.82 ± 0.01	0.39 ± 0.07	0.65 ± 0.01	0.12 ^a ± 0.09	-	(Bian, et al., 2015)
<i>T. aestivum</i> L SWW	14.5	7.84 ± 0.02	1.12 ± 0.06	0.50 ± 0.01	0.16 ^a ± 0.09	-	(Bian et al., 2015)
<i>T. aestivum</i>	13.59 ± 0.05	10.2 ± 0.3	1.08 ± 0.11	0.09 ± 0.03	-	-	(Miranda-Ramos et al., 2019)
<i>T. aestivum</i>	9.01 ± 0.05	14.01 ± 0.12	1.58 ± 0.05	1.40 ± 0.01	1.21 ± 0.03 ^b	73.98 ± 0.15	(Nieto-Mazzocco et al., 2020)
<i>var. M.P Sihore</i>	6.8 ± 0.10	11.31 ± 0.23	2.03 ± 0.06	1.48 ± 0.01	-	85.19 ± 0.24	(Banerji, et al., 2018)
<i>T. Primavera var. Bastian</i>	-	14.1	1.6	-	3.1 ^b	-	(Magnus, et al., 2000)
<i>T. aestivum</i>	10.38	8.52	0.27	0.36	-	80.49	(Saeleaw & Schleining, 2010)
<i>T. aestivum</i>	-	11.4	-	-	6.15 ^b	85.3	(Cappelli et al., 2018)
<i>T. aestivum</i> T.70%	13.75 ± 0.27	11.58 ± 0.28	-	0.63 ± 0.09	-	67.78 ± 1.33	(Frakolaki, et al., 2017)

a. Fibra cruda b. Fibra dietaria total

El porcentaje de proteína determina parcialmente la fuerza de la harina. Una masa hecha con harina de buena calidad de proteínas es extensible y puede mecanizarse en una lámina continua para galleta. Una harina débil con un contenido bajo en proteína produce una masa pastosa que puede moldearse o depositarse en moldes fácilmente para la elaboración de galletas con texturas suaves (Davidson, 2019). Las moléculas de proteína conforman largas cadenas de gluten, quienes establecen una red elástica, confiriendo a la masa resistencia; así mismo, el gluten durante la fermentación atrapa las burbujas de aire y gas formadas contribuyendo a que las texturas sean esponjosas o crocantes dependiendo de la humedad del producto (Cauvain & Young, 2006; Davidson, 2019). Se han desarrollado diferentes métodos para medir la cantidad de gluten presente en las masas, uno de ellos es por lavado; el cual, mediante la formación inicial de la masa, se

realiza un lavado con agua la cual se cuantifica, durante este proceso se retira el almidón y las proteínas solubles globulinas y albuminas; las proteínas insolubles en agua forman el gluten húmedo (prolaminas o gliadinas y glutelinas). El exceso de agua con gluten es colocado en un tamiz para evitar pérdida de gluten; el gluten resultante se deshidrata a temperatura constante hasta obtener peso constante; generalmente la relación es 1:3 gluten seco a gluten húmedo; usualmente el gluten se usa como ingrediente en panadería para mejorar panes que requieran mejorar el volumen y su estructura final, también se adiciona algunas veces a productos como salchichas (Ponce, Malaga, Huamani, & Chuqui, 2016; Serna-Saldivar, 2010).

Por ejemplo el nivel de proteína deseado para pan es entre el 12 al 13%, que permite un buen desarrollo de gluten, a su vez retención de gas lo que facilitará el desarrollo de la miga; en cambio para preparaciones como galletas o tortas, la harina empleada contiene un nivel de proteína de máximo 10%, dado que harinas más duras, afectan la textura endureciendo el producto final, esto debido a la capacidad de las gluteninas de dar fuerza y estructura rígida a la masa, en la Tabla 1- 3 se observan el índice alveográfico y la estabilidad farinográfica para algunos productos horneados.

Tabla 1-3 Clasificación de las harinas según parámetros químicos y tecnológicos.

Grado de trigo	Proteína N*5.7 (g/100g)	Índices alveográficos W (J * 10 ⁻⁴)	P/L	Estabilidad farinográfica (min)
Trigo mejorado <i>Gluten muy fuerte</i>	> 14.5	> 300	<1	>15
Trigo superior para panificación	12.5 -14.5	220 -300	<0.7	10-15
Trigo común para panificación	10.5 -12.5	160 -200	<0.6	5 - 10
Trigo para galletas <i>Gluten débil</i>	< 10.5	< 115	<0.5	No determinado

Fuente: (Pagani, Marti, & Bottega, 2014)

A pesar de las ventajas que confiere el trigo para la elaboración de una amplia gama de alimentos, las tendencias en alimentación son cambiantes, y las elecciones de los consumidores están dirigidas a productos más saludables, es decir que aporten un mayor contenido de nutrientes y estos a su vez ofrezcan beneficios para la salud; además que el gluten se encuentra asociado con la enfermedad celiaca, una enfermedad autoinmune que genera reacciones alérgicas al consumir alimentos que lo contengan, esta afecta aproximadamente al 1% de la población mundial (King *et al.*, 2020); es por esto que buscar ingredientes alternativos a la harina de trigo es clave para ampliar la oferta de productos horneados (Liu *et al.*, 2019; Montero-Quintero *et al.*, 2015).

1.2.2 Agua

En productos horneados el agua se encarga de posibilitar el amasado dado que al hidratar las proteínas facilita la formación del gluten y a su vez se inicia la hidratación del granulo del almidón (Manley, 2011). Las características reológicas de la masa dependen en gran parte del nivel de adición de agua, es por ello que se han desarrollado instrumentos para la medición de la extensibilidad, elasticidad, fuerza y estabilidad al amasado en función del agua (Ahmed, Ptaszek, & Basu, 2017). Por otra parte, contribuye al transporte, desarrollo y supervivencia de las levaduras. El agua solubiliza la sal y el azúcar, ayudando a dispersar la levadura a través de la harina; entre tanto, el agua libre en la masa influye en su extensibilidad, por ejemplo cuando el agua supera la capacidad de absorción de la harina, la masa se vuelve pegajosa y extensible; en cambio, cuando la adición de agua es menor que el porcentaje de absorción de la harina, la masa se hace dura, seca y se resiste al estiramiento; el porcentaje de absorción de agua depende de la cantidad de gluten y la humedad de la harina (Escobar, 2012). Durante la molienda del grano de trigo se adiciona agua, es por esto que se pueden presentar harinas húmedas. En Colombia según la NTC 267 la humedad máxima permitida es de 14.5% (ICONTEC, 2007a); entre tanto, harinas con baja humedad, por debajo de 12% pueden retener más agua; respecto al porcentaje de proteína harinas duras entre 12% a 13% requieren más agua, que una harina suave entre 8% a 10% (Manley, 2011). La cantidad de agua controla la calidad, textura, sabor, olor, volumen, sabor y la sensación en boca de los productos de panadería (Zhou, Therdthai, & Hui, 2014).

1.2.3 Grasa

Algunas de las grasas más comunes usadas en alimentos son las margarinas y los *shortening*; las primeras están compuestas en un 80% por triglicéridos que pueden ser saturados e insaturados, usualmente son provenientes de aceites de palma, contienen 16%-18% de agua, saborizantes, colorantes, preservantes y emulsificantes; los segundos son grasas anhidras que tienen mezclas de aceites con ligera plasticidad y han sido enriquecidas con emulsificantes. Los *shortening* son ricos en ácidos grasos saturados, los cuales son relacionados con efectos negativos en la salud (Lindarte & Gutierrez, 2016). A pesar de este hecho, las grasas en la industria de alimentos se utilizan con fines tecnológicos y de calidad dado que brinda lubricación durante el amasado, contribuyen a

la retención de aire, entre otras; también afectan las características del producto final de textura, vida útil, y color (Manley, 2011), por ejemplo, las galletas laminadas, saladas, semidulces o de masas duras contienen entre un 10% al 22% de grasa con relación a la harina, en cambio, las masas moldeadas pueden tener entre 17% y 30% de grasa, las primeras son más crocantes y las segundas más suaves y friables (Davidson, 2019).

Aquellas galletas con alto contenido de grasa requieren poca agua para producir una masa cohesiva, debido a la acción lubricante de la grasa; así mismo, durante el mezclado las capas de grasa en conjunto con las partículas de harina inhiben la hidratación e interrumpen la formación del gluten, generando masas suaves y cortas, dado que la grasa debilita la red de gluten puesto que se generan enlaces hidrófobos con aminoácidos del gluten; por esta razón se nombra de forma genérica a las grasas como "*shortening*" que es un término utilizado para describir una de las funciones clave de la grasa en las galletas que es suavizar la masa brindando la textura una textura friable o de deshielo en boca; en las formulaciones con gran cantidad de grasa y azúcar se produce una textura suave, humectada y masticable (Manley, 2011). Las grasas también tienden a inhibir la acción leudante del dióxido de carbono durante el horneado, y esto produce masas suaves y de textura más fina (Cauvain & Young, 2006; Manley, 2011).

La calidad de las galletas depende del tipo de grasa usada en su producción, por ejemplo, las galletas denominadas "*Premium*" son elaboradas con mantequilla dado que confiere un mejor sabor al producto y texturas más suaves en comparación a las galletas elaboradas con margarina. Por otra parte, la margarina es una grasa de origen vegetal solidificada, que forma cristales alfa, beta y beta prima, confiriendo propiedades diferenciales a los productos en el momento del horneado; por ejemplo, la forma beta prima tiene la mayor capacidad de retención de aire dado que en comparación con las formas alfa y beta, los productos son menos densos (Cauvain & Young, 2006).

Las grasas se pueden clasificar dependiendo del momento de inclusión durante la incorporación de ingredientes; por ejemplo, la grasa de masa se adiciona durante la mezcla de la harina con agua, favoreciendo el desarrollo del gluten y dando masas más fuertes y extensibles, a su vez contribuye a la formación de burbujas ofreciendo mayor estructura a la masa, esta grasa se utiliza con mayor frecuencia en la elaboración de panes; la grasa para laminación se mantiene sólida el 35% a 25°C siendo pre-cristalizada para asegurar el nivel de plasticidad de la misma, característica primordial para la elaboración de las

láminas de productos como galletas *cracker* y hojaldres. Las grasas de relleno o grasas cremosas son sustancias hidrogenadas obtenidas a partir del aceite de palma o aceite de coco, las cuales presentan buena estabilidad, capacidad de aireación, plasticidad y un punto de fusión generalmente menor a la temperatura corporal 37°C; esto para evitar sensaciones de serosidad o palatabilidad cuando se consume un producto (Damodaran, Parkin, & Fennema, 1996; Serna-Saldivar, 2010).

1.2.4 Levadura

La levadura es un hongo unicelular de la especie *Saccharomyces cerevisiae* de aproximadamente 1.5×10^{10} células por g (Manley, 2011), que se ha utilizado en la producción de alimentos fermentados a base de cereales desde tiempos antiguos. Durante la fermentación se aumenta la producción de CO₂ en la masa, aumentando el volumen y confiriendo sabor característico (Zhou *et al.*, 2014). La fermentación se da mediante la ruta metabólica de “Embden-Meyerhof” o glucólisis, principalmente por la acción externa de dos enzimas, la invertasa, que descompone la sacarosa en dextrosa y fructosa, y un complejo de zimasa que convierte el azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono en ausencia de oxígeno, como se observa en la Fórmula 1-1.

Fórmula 1-1



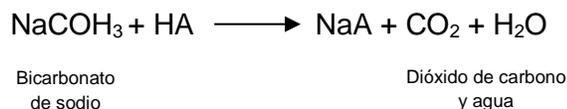
La levadura se puede encontrar en el mercado como levadura fresca en forma de bloque comprimido, con un contenido de humedad de aproximadamente 70%, levadura seca activa (en forma granular) o como levadura seca instantánea (Manley, 2011). La levadura produce dióxido de carbono que confiere volumen a la masa; así como aumenta las propiedades de elasticidad, adhesividad y flujo de la masa (Escobar, 2012).

1.2.5 Agentes leudantes

Los agentes leudantes son aditivos empleados usualmente en pastelería y galletería, ya que al adicionarse en la masa producen gases que forman núcleos para el desarrollo de la masa durante la cocción, confiriendo al producto final una textura esponjosa y suave. La mayoría de estos agentes químicos dejan residuos en la masa que afectan el pH final del producto (Manley, 2011), siendo el más usado el bicarbonato de sodio, el cual en presencia

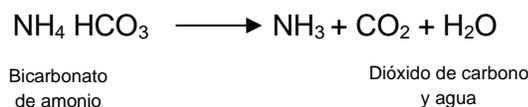
de agua reacciona con las sustancias ácidas que se encuentran en la masa, para liberar dióxido de carbono; el bicarbonato también reacciona cuando se aumenta la temperatura de la matriz liberando dióxido de carbono y permanece en estado de carbonato en la matriz. Las fuentes más comunes de dióxido de carbono son los bicarbonatos de sodio o de amonio. El bicarbonato de sodio (NaHCO_3) reacciona con un ácido (HA) como se evidencia en la Fórmula 1-2.

Fórmula 1-2



Cuando el bicarbonato de amonio, se calienta, libera tres gases según lo descrito en la Fórmula 1-3.

Fórmula 1-3



El bicarbonato de amonio no es recomendable en matrices con una humedad superior al 5%, dado que después de la cocción presentaran retención de amoníaco, haciéndolas incomedibles; el uso de bicarbonato de amonio se limita a producción de galletas secas y algunos productos de galletas saladas. En tales productos, tiene la ventaja de que no deja sal residual después de la reacción. Las sales residuales pueden afectar el sabor o la reología de la masa o ambos (Delcour & Hosenev, 2010).

1.2.6 Sal

La sal contribuye a la calidad e inocuidad de los productos horneados, debido a que mejora la textura, calidad sensorial, y extiende la vida útil de los mismos (Nahar, Madzuki, Izzah, Karim, & Ghazali, 2019). Las concentraciones usuales de sal empleadas para ser incorporadas en las masas se encuentran entre 1% a 1.5%, adiciones mayores al 2.5% confieren sabores desagradables a los productos terminados (Cauvain & Young, 2006). En las masas que presentan un desarrollo de gluten importante como en galletas saladas y semi dulces, la sal se encarga de fortalecer el gluten y formar masas menos pegajosas,

esto se debe a que la sal controla la hidratación de la gliadina y glutenina, promoviendo un desarrollo más organizado del gluten, por tanto, la masa tiene una mayor capacidad resistencia y extensibilidad (McCann & Day, 2013). La sal disminuye la velocidad de fermentación controlando la producción de CO₂; una cantidad reducida de sal produce una fermentación excesiva donde la levadura produce demasiado CO₂ y conduce a una textura deficiente (Lynch, Dal Bello, Sheehan, Cashman, & Arendt, 2009). Así mismo la sal inhibe ligeramente la acción de las enzimas proteolíticas sobre el gluten; estas son las peptidasas y proteasas las cuales catalizan las hidrolisis de los enlaces peptídicos (Manley, 2011). De esta manera, la sal regula la velocidad del crecimiento de la levadura y demás levaduras aportadas por el ambiente, las cuales tienden a producir proteasas que dañan los enlaces entre los aminoácidos que conforman las proteínas de la red de gluten deteriorándolo, lo que causa una pérdida de elasticidad y resistencia en la masa, generando un producto difícil de moldear y de desarrollar (Amjid *et al.*, 2013).

1.2.7 Fibra

La fibra dietaria comprende un grupo de polisacáridos provenientes de las paredes celulares de las plantas como celulosa, hemicelulosas, pectina y lignina, así como polisacáridos intracelulares gomas y mucílagos; los cuales no son hidrolizados por las enzimas digestivas (Sungsoo & Dreher, 2001). Existen dos tipos de fibra, soluble entre las cuales se encuentran la inulina, β -glucanos, polisacáridos no amiláceos, entre otros, y fibra insoluble, a las que pertenecen la celulosa, lignina y hemicelulosa, por citar algunos ejemplos. La naturaleza soluble e insoluble de la fibra dietaria decide su funcionalidad tecnológica y sus efectos fisiológicos (Spiller, 2001). Las fibras solubles son responsables del aumento de la viscosidad y reducen la respuesta glucémica y el colesterol en el plasma. Las fibras insolubles se caracterizan por su porosidad, su baja densidad y se asocian con un aumento del volumen fecal y una disminución del tránsito intestinal. En las operaciones de procesamiento de alimentos, la incorporación de fibra soluble en productos alimenticios proporciona viscosidad, aumenta la capacidad para formar geles y actúa como emulsificante, en comparación con la fibra insoluble (Mudgil & Barak, 2013).

La fibra dietaria ha sido ampliamente estudiada por los efectos fisiológicos y de salud que se encuentran asociadas a su consumo (McGill *et al.*, 2015). Como se mencionó anteriormente, la clasificación funcional de la fibra depende de su solubilidad, es así que,

la fibra insoluble es caracterizada por su alta porosidad, baja densidad y la capacidad de aumentar el volumen fecal, mejorando el tránsito gastrointestinal; a su vez, reduce la exposición del colon a sustancias carcinogénicas y reduce la incidencia de cáncer colorrectal, aumentando el volumen de masa fecal y la disminución del tiempo de tránsito; por su parte, la fibra soluble influye en el tracto digestivo aumentando la retención de agua, promoviendo la formación de geles que son sustrato para la fermentación de las bacterias del colon, lo que altera la absorción de algunos nutrientes (Clemens, 2015; Dahl & Stewart, 2015; Mudgil & Barak, 2013). Cabe resaltar que los alimentos ricos en fibra, cuando son consumidos reducen la respuesta glucémica y gracias a la capacidad de atrapar los ácidos biliares pueden disminuir el colesterol circulante especialmente mediante la disminución del colesterol *LDL* de baja densidad (Roman & Valencia, 2006; Spiller, 2001; Sungsoo & Dreher, 2001).

La fibra dietaria consumida por el ser humano se encuentra principalmente en alimentos de origen vegetal, cereales, pseudocereales, legumbres, frutas, nueces y semillas (Damodaran *et al.*, 1996; Sungsoo & Dreher, 2001). En la corteza de frutas y vegetales se encuentran las pectinas compuestas principalmente por cadenas de ácido galacturónico, intercalado por unidades de ramnosa, pentosa y hexosa, las pectinas son solubles en agua caliente y forman geles (Ridley, O'Neill, & Mohnen, 2001), son usadas en la industria de alimentos como agente espesante; gracias a esta capacidad de gelificación encapsulan el colesterol y los ácidos biliares y promueven su excreción, siendo benéfico para la salud de los consumidores (Mudgil & Barak, 2013). En los pseudocereales como el amaranto, el aporte de FDT es entre 8% al 20%, del cual el 78% es fibra insoluble, compuesta principalmente de ácido galacturónico, arabinosa, galactosa, xilosa y glucosa; la fibra soluble representa el 22% de la FDT y está compuesta por glucosa, ácido galacturónico, arabinosa y xilosa, estudios en ratones han demostrado que estos compuestos protegen la pared gástrica al daño con etanol; también se asocia el consumo de amaranto disminución en los riesgos de cáncer de colón (Lamothe, Srichuwong, Reuhs, & Hamaker, 2015).

Entre los diferentes tipos de fibra se encuentran los hidrocoloides son un amplio grupo de polisacáridos que incluyen las gomas, mucilagos, psyllium y glucomanano, son considerados como los más potentes formadores de gel (Sharma *et al.*, 2018); así mismo, han sido estrechamente relacionados con su capacidad saciante y disminución de la glucosa sérica (Thomas, Balakrishnan, & Sreekala, 2018), son encontrados en semillas y

algas. Por otra parte, los β -glucanos son polímeros de glucosa encontrados en la avena y granos de cebada capaces de formar soluciones viscosas que gracias a su fibra soluble afectan la respuesta a la insulina, glucosa y colesterol en el tracto gastrointestinal, contribuyendo al manejo de la obesidad y control del peso (Cook, Rains, & Maki, 2013). Es así que la fibra dietaria se encuentra en gran variedad de alimentos; aunque su consumo es bajo, por esto puede incluirse como ingrediente en alimentos de alto consumo e impactar positivamente su ingesta diaria por la población (H. Zhang, Wang, Cao, & Wang, 2018). La inclusión de fibra en alimentos ha sido amplia, por ejemplo, Khalil *et al.* (2015) estudiaron tres tipos de galletas enriquecidas con salvado de avena en tres concentraciones 10%, 20% y 30%, que reemplazaban en la formulación base con HT refinada. Como resultado, no se obtuvieron diferencias significativas entre la formulación con 10% de avena y el control en el análisis sensorial, a mayor sustitución menor aceptabilidad sensorial; esto indica que el salvado de avena se puede incluir hasta en un 10% en las formulaciones de galletas tradicionales.

1.2.7.1 Inulina

La inulina fue descubierta a principios de 1800, esta fue extraída por primera vez de la raíz del helenio (*Inula helenium*). Químicamente, es una sustancia polidispersa, entre oligómeros y polímeros de β -(2-1)-fructosa, con una estructura que puede ser representada por la fórmula GF_n , en la que G es la unidad de glucosilo, F es la unidad de fructosilo y n el número de unidades de fructosilo ligadas ($n \geq 2$) por enlaces β (2-1) como se observa en la Figura 1-2. La inulina también contiene cantidades menores de F_n fructanos ($n \geq 2$), en los que la unidad terminal glucosilo no está presente. El grado de polimerización (DP) de la inulina de achicoria varía entre 2 a 60. (Sungsoo & Dreher, 2001). Actualmente se extrae de gran variedad de plantas, incluyendo vegetales, frutas y cereales comunes; entre ellos la achicoria, el ajo, el banano, la avena, la cebolla, entre otros (Meyer & Blaauwhoed, 2009). Como ingrediente tiene propiedades similares a las del almidón (Madrigal & Sangronis, 2007); por ejemplo, la capacidad de retención de agua se debe a que sus macromoléculas pueden formar zonas de unión atrapando grandes cantidades de agua; así mismo, sus proteínas tienen la capacidad de formar geles y aumentar la viscosidad.

La inulina reemplaza con buenos resultados sensoriales la grasa; en algunos productos de panadería y cereales para el desayuno, también contribuye a la crocancia, y aumenta la vida útil, mejorando el perfil nutricional debido al aporte de fibra dietaria (Liu *et al.*, 2016); en panes y pasteles los mantiene húmedos y frescos durante más tiempo; sin embargo en galletas se ha utilizado para disminuir la cantidad de grasa saturada, obteniendo resultados aceptables para textura, genera disminución en el volumen de la galleta afecta la suavidad pero la mantiene estable hasta 60 días de almacenamiento (Paciulli *et al.*, 2020). La solubilidad de la inulina permite la incorporación de fibra en sistemas acuosos como bebidas, productos lácteos y productos para untar. La inulina también se usa a menudo como fibra dietética en tabletas. Por otra parte, la inulina y la oligofruktosa se aplican cada vez más en alimentos funcionales, especialmente en una amplia gama de productos lácteos, pero también en otros alimentos como el pan, como ingredientes prebióticos que estimulan el crecimiento de bacterias intestinales beneficiosas (Franck, 2002).

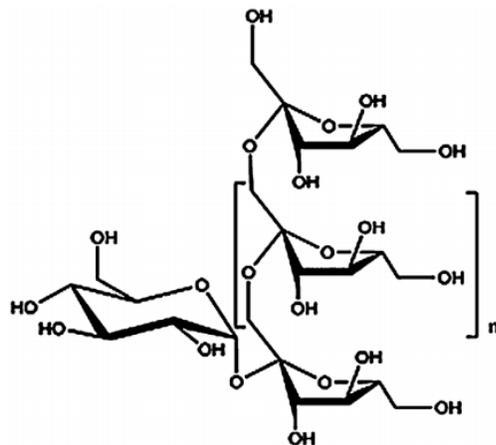


Figura 1-2 Estructura de la inulina GF n . Fuente: (Shoaib *et al.*, 2016)

1.3 Amaranto

El primer cultivo de amaranto se reporta hace aproximadamente 4000 años en las civilizaciones Maya, Azteca e Inca, siendo casi tan importante como el cultivo de maíz en las regiones de centro y sur América (Aguilar *et al.*, 2013). Se distribuyen más de 400 especies de *Amaranthus* por el mundo en zonas de clima templado, subtropical y tropical (Rastogi & Shukla, 2013). El amaranto es denominado un pseudocereal, dado que produce

granos muy similares a los cereales, pero es una especie dicotiledónea, en Mesoamérica y América del Sur existen dos cultivos principales de pseudocereales, amaranto (*Amaranthaceae*) y quinoa (*Chenopodiaceae*) (Belton & Taylor, 2002). Este pseudocereal tiene 70 especies que se distribuyen por todo el mundo; 40 nativas de América y el resto pertenecientes a y Europa, Asia y África (ILSI, 2018); de las más estudiadas son *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus caudatus* y *Amaranthus hypochondriacus* debido a sus características nutricionales y de salud; las plantas se pueden encontrar en colores entre amarillo cremoso a rojizo (Bet et al., 2018).

Las hojas jóvenes del *Amaranthus blitrus*, *Amaranthus Tricolor*, *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus dubius*, *Amaranthus edulis* y *Amaranthus hypochondriacus* se utilizan en ensaladas y sopas. Los granos de *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hybridus* y *Amaranthus mantegazzianus* son utilizadas para la elaboración de panes, pasteles, galletas, confitería y sopas, en cambio, especies como *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus Viridis* y *Amaranthus espinosos*, no son seguros para el consumo humano o animal (Caselato-Sousa & Amaya-Farfán, 2012). En América del sur las más cultivadas son: *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus caudatus* nativos de México, Guatemala y Perú; en Colombia se encuentran siete especies nativas y dos cultivadas distribuidas por todas las regiones naturales, desde el nivel del mar hasta 2700 msnm (Agudelo, 2008). Los rendimientos del cultivo de amaranto para 2015 estaban entre 50 a 7200 kg/ha; los más altos se encontraron para América central y del sur con 4600-7200 kg/ha, seguido por Europa 1200-6700 kg/ha y los más bajos fueron reportados fueron para África con 50-2500 kg/ha (Alemayehu et al., 2015).

La semilla de amaranto es de forma lenticular, tienen un diámetro de aproximadamente 1 mm, el embrión está rodeado por el perispermo almidonado ubicado en el centro del grano y compuesto principalmente por gránulos de almidón, como se observa en la Figura 1-3 el embrión está envuelto por la cubierta de la semilla, el endospermo y el pericarpio, que son similares a la fracción de salvado de los cereales; también se observan los cotiledones, la radícula y el ápice foliáceo (D'Amico & Schoenlechner, 2017).

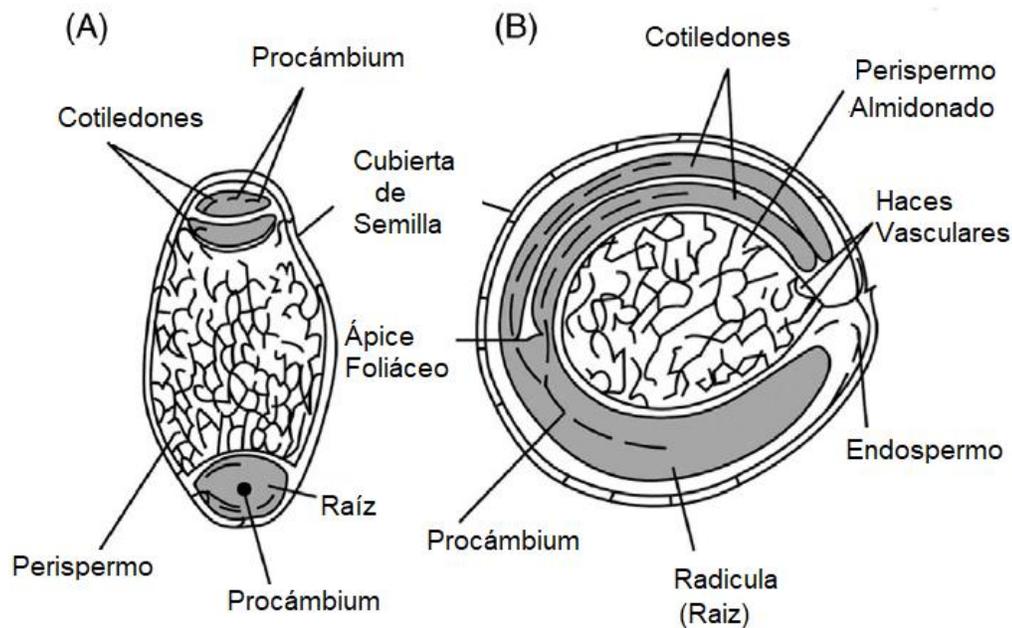


Figura 1-3 Semilla de amaranto en cortes transversales (A) y longitudinales (B).
Fuente:(D'Amico & Schoenlechner, 2017).

El amaranto se considera una semilla de alto valor nutricional, su aporte de proteína se encuentra entre el 13% al 21%, está compuesta principalmente por globulinas y albuminas; por tanto la calidad de las proteínas es diferentes a las de cereales como el trigo, ya que su principal proteína de almacenamiento es la prolamina; en comparación con el gluten del trigo el amaranto contiene el hexámero globulina 11S o amarantina (Alonso-Miravalles & O'Mahony, 2018); en su perfil de aminoácidos contiene una mayor cantidad de aminoácidos esenciales como la lisina, leucina, cisteína, metionina y triptófano, como también menor contenido de ácido glutámico y prolina (Aguilar *et al.*, 2013; Alvarez-Jubete, Arendt, & Gallagher, 2010; D'Amico & Schoenlechner, 2017), por ejemplo, el amaranto aporta el doble de lisina que el trigo y el triple que el maíz aminoácido limitante para los cereales (Joshi *et al.*, 2018). La biodisponibilidad de la proteína de amaranto es de aproximadamente el 90% (Rastogi & Shukla, 2013) y la relación de eficiencia proteica oscila entre 1.5 a 2.0, mayor que en los cereales y muy similar a la caseína de la leche (Aguilar *et al.*, 2013; Belton & Taylor, 2002; Martinez-Lopez, Millan-Linares, Rodriguez-Martin, Millan, & Montserrat-de la Paz, 2020; Minzanova *et al.*, 2014). En la Tabla 1-4 se observa el perfil de aminoácidos expresado en g /100 g de proteína de la especie

Amaranthus cruentus variedad *Candil* (CC) y *Amaranthus hypochondriacus* variedad *Dorado* (DH), en este se evidencia que el aporte de aminoácidos esenciales es mayor a las recomendaciones realizadas por el comité de expertos en calidad de proteína para nutrición humana (FAO, 2013), siendo un factor clave para la biodisponibilidad de la proteína aportada por la HA.

Tabla 1-4 Perfil de aminoácidos del amaranto

Composición de aminoácidos en mg/100g proteína de la harina de semilla			
Aminoácido	<i>Amaranthus cruentus</i> var. <i>Candil</i> (CC)	<i>Amaranthus hypochondriacus</i> var <i>Dorado</i> (DH)	Valores recomendados de ingesta por la FAO adultos
Alanina	48.1 ± 3.3	43.1 ± 3.1	-
Arginina	109.2 ± 9.7	107.3 ± 8.2	-
Ácido aspártico	114.5 ± 10.1	68.5 ± 4.5	-
Ácido Glutámico	171.0 ± 13.2	195.5 ± 15.6	-
Glicina	82.8 ± 7.3	88.9 ± 6.8	-
Histidina	40.4 ± 3.2	42.3 ± 3.8	15
Isoleucina	40.9 ± 2.9	27.8 ± 2.0	30
Leucina	70.7 ± 5.4	66.7 ± 5.1	59
Lisina	47.3 ± 3.8	60.3 ± 4.6	45
Metionina+ Cisteína	5.3 ± 4.1	54.9 ± 3.4	22
Fenilalanina+ Tirosina	79.2 ± 5.8	66.1 ± 4.6	38
Prolina	58.5 ± 3.4	55.0 ± 3.8	-
Serina	41.6 ± 3.6	72.3 ± 5.7	-
Treonina	48.8 ± 3.8	37.7 ± 2.8	23
Triptófano	10.4 ± 1.0	14.3 ± 0.9	6.0
Valina	20.2 ± 1.8	19.2 ± 1.2	39

Fuente: (Aguilar *et al.*, 2013).

El contenido lipídico del amaranto es dos a tres veces superior a los cereales comunes, presenta antioxidantes naturales como el escualeno y tocoferoles, es rico en ácidos grasos insaturados y poliinsaturados; el ácido linoleico es aproximadamente el 50% de los ácidos grasos, por tanto, el más abundante, seguido del ácido oleico 25% y ácido palmítico 20% (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010; Belton & Taylor, 2002; Nascimento *et al.*, 2014). Presenta aproximadamente un 1% de ácido α -linolénico (18:3- ω 3), el cual es beneficioso, pues se relaciona con una mayor ingesta de ácidos grasos ω -3 que reduce los marcadores asociados con enfermedades degenerativas como: cáncer, osteoporosis, enfermedades inflamatorias, cardiovasculares y autoinmunes (Zhang, Kang, & Che, 2019). El perfil de ácidos grasos se presenta en la Tabla 1-4 para *Amaranthus spp*, sembrado en Bolivia,

región andina de semilla blanca (AS1) y *Amaranthus cruentus* sembrado en Ontario Canadá semilla dorada (AS3); este estudio realizado por Tang *et al.*, (2016) confirma que el contenido de ácidos grasos insaturados corresponde al 72% y en la quinoa 83.7%, también muestra una mejor relación de ácidos grasos ω -6 / ω -3 para la variedad de amaranto *cruentus*.

Tabla 1-5 Perfil de ácidos grasos amaranto

Composiciones de ácidos grasos de los diferentes cultivares de amaranto (porcentaje relativo)			
átomos de carbono	Nombre ácido	Amaranthus spp. (AS1)	Amaranthus cruentus. (AS3)
16:0	Palmítico	19.33 ± 0.04	19.02 ± 0.04
18:0	Esteárico	3.70 ± 0.01	3.74 ± 0.01
18:1-9c	Oleico	25.76 ± 0.04	23.12 ± 0.03
18:1-11c	Vaccénico	1.57 ± 0.03	1.39 ± 0.01
18:2 ω -6	Linolelaídico	44.12 ± 0.03	45.83 ± 0.04
20:1 -11	Gadoleico	0.19 ± 0.01	0.26 ± 0.01
18:3 ω -3	α -linolénico	0.70 ± 0.01	1.33 ± 0.02
22:1	Erúcico	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00
Total ácidos grasos insaturados		72.39 ± 0.10	71.98 ± 0.09
Relación ω-6/ ω-3		63.34 ± 1.00	34.64 ± 0.57
Rendimiento de aceite		7.07 ± 0.03	7.11 ± 0.04

Fuente: (Tang *et al.*, 2016).

Los carbohidratos que se encuentran en el amaranto son aproximadamente entre el 48% al 70%, se depositan en el endospermo y son principalmente almidón, presentan gránulos pequeños, uniformes de diámetro entre 1-3 μ m; el almidón de amaranto contiene más del 90% de amilopectina compuesta por glucanos ramificados de cadena corta, con un peso molecular entre $12 \times 10^6 - 17 \times 10^6$ g/mol, esto brinda propiedades tecnológicas al almidón del amaranto, tales como: viscosidad de 122 mPa.s a 95°C, baja resistencia al ácido, alta estabilidad al cizallamiento y alta estabilidad de congelación/descongelación, en comparación con el almidón de trigo que muestra una estabilidad al ácido y una menor viscosidad 107 mPa.s a 95°C (Venskutonis & Kraujalis, 2013; Zhu, 2017). Esta característica del almidón de amaranto permite un mayor poder de hinchamiento, mayor absorción de agua, menor solubilidad en agua, así como una mayor resistencia a las amilasas y menor contenido de amilasa (Rastogi & Shukla, 2013). El índice glucémico de la harina de amaranto es alto, similar al del pan blanco, esto se asocia al tamaño de los gránulos de almidón, el bajo contenido de almidón resistente y la tendencia de este a perder su estructura cristalina por calentamiento, sin embargo la cantidad de FDT,

presente evita que al consumirse aumente el pico de glucosa en sangre (D'Amico & Schoenlechner, 2017); así mismo, la digestibilidad del almidón gelatinizado de amaranto es de 63.5% mucho mayor que la del maíz 35% ambos son ricos en amilopectina (Belton & Taylor, 2002); por lo tanto al consumir productos que contengan amaranto no verán afectado su pico de glucemia y la digestibilidad de los carbohidratos será completa, siendo esto benéfico para la salud en general.

Por otra parte, entre los carbohidratos se encuentra la fibra dietaria, que en el caso de la HA su aporte varía entre 7% a 20% según la especie y el método de molienda (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010; Chauhan, Saxena, & Singh, 2015; Lamothe *et al.*, 2015). La mayoría de la fibra en el amaranto es insoluble, formada por: ácido galacturónico, arabinosa, xilosa, glucosa, galactosa, ramnosa, fucosa y manosa, mientras que la fibra soluble es aproximadamente el 44% del total de fibra dietaria y sus monosacáridos principales son: glucosa, ácido galacturónico, arabinosa, galactosa, manosa y xilosa (Kurek, Karp, Wyrwicz, & Niu, 2018; Lamothe *et al.*, 2015).

Por lo anteriormente expuesto, el amaranto es una excelente opción para incluir en productos alimenticios de alto consumo, también para sustituir parcial o totalmente las harinas de cereales dado que mejora el perfil nutricional de los productos, ofreciendo al consumidor un mayor aporte de fibra, proteína de alto valor biológico y ácidos grasos insaturados, así como compuestos antioxidantes.

1.3.1 Harina de Amaranto (HA)

El amaranto fue utilizado inicialmente por las comunidades precolombinas en forma de grano inflado y mezclado con ingredientes como miel, en una preparación típica llamada “alegría”, el uso como ingrediente en diferentes formulaciones de panes, cereales, *snackss*, crackers, barras y galletas se encuentra en crecimiento (Paredes-López, 1994). La HA es producto de la molienda del grano, con un perfil nutricional excepcional, gracias a su contenido de proteína libre de gluten, el perfil de aminoácidos que mejora su biodisponibilidad, los ácidos grasos ω -6 que aporta a la dieta, y la fibra dietaria, como se observa en la Tabla 1-6 el aporte de proteína, lípidos, ceniza, fibra y carbohidratos para diferentes variedades de HA.

Tabla 1-6 Reportes de composición fisicoquímica harina de amaranto

Origen Botánico	Humedad (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Ceniza (%)	Fibra (%)	CHO (%)	Referencia
A. Hypochondriacus	-	6.6% - 19.8%	3.8% - 7.4%	1.7% - 3.8%	0.3% - 1.5% ^a	-	(Kaur, Singh, & Rana, 2010)
A. Hypochondriacus var. Dorado	9.96 ± 0.05	15.85 ± 0.21	7.19 ± 0.17	3.58 ± 0.22	15.91 ± 0.46 ^b	-	(Aguilar <i>et al.</i> , 2013)
A. Hypochondriacus	10.50 ± 0.01	14.80 ± 0.09	5.94 ± 0.01	2.62 ± 0.02	-	-	(Miranda-Ramos <i>et al.</i> , 2019)
A. Hypochondriacus.	5.51 ± 0.02	17.14 ± 0.12	8.02 ± 0.05	3.61 ± 0.05	2.21 ± 0.02 ^a	65.71 ± 0.16	(Nieto-Mazzocco <i>et al.</i> , 2020)
A. hypochondriacus spp., var. Phule Kartiki	7.68 ± 0.10	15.7 ± 0.24	8.23 ± 8.23	3.03 ± 0.06	-	73.04 ± 0.44	(Banerji, <i>et al.</i> , 2018)
A. Caudatus	-	14.8% - 16.7%	5.4% - 8.2%	2.2% - 3.0%	0.9% - 1.6% ^a	-	(Kaur <i>et al.</i> , 2010)
A. Caudatus	10.50 ± 0.04	13.4 ± 0.2	6.43 ± 0.09	2.89 ± 0.01	11.30 ± 0.5 ^b	-	(Nascimento <i>et al.</i> , 2014)
A. Cruentus	10.30 ± 0.09	16.60 ± 0.18	8.77 ± 0.95	3.35 ± 0.05	9.83 ± 0.05 ^b	-	(Escudero, <i>et al.</i> , 2004)
A. Cruentus var. Candil	12.73 ± 0.23	12.41 ± 0.01	9.19 ± 0.27	4.02 ± 0.19	16.61 ± 0.39 ^b	-	(Aguilar <i>et al.</i> , 2013)
A. Cruentus L.	4.17 ± 0.28	14.60 ± 0.13	8.28 ± 1.05	1.87 ± 0.04	-	71.09 ± 1.32	(Tanimola, <i>et al.</i> , 2016)
A. spinosus	11.07 ± 0.00	14.07 ± 0.01	6.07 ± 0.01	2.77 ± 0.08	-	-	(Miranda-Ramos <i>et al.</i> , 2019)
A. spp var. VL-44	8.13 ± 0.05	15.05 ± 0.05	6.68 ± 0.08	2.91 ± 0.08	9.52 ± 0.02 ^b	62.41a ± 0.03	(Chauhan <i>et al.</i> , 2015)
A. spp	-	15.13 ± 1.12	2.12 ± 0.10	0.90 ± 0.01 ^f	0.72 ± 0.29 ^a	75.88 ± 0.97	(Cárdenas-Hernández <i>et al.</i> , 2016)
A. spp	8.94 ± 0.05	14.6 ± 0.30	6.04 ± 0.10	2.4 ± 0.02	11.3 ± 0.86 ^b	68.1 ± 0.47	(Alonso-Miravalles & O'Mahony, 2018)
A. spp germinado	11.29 ± 0.20	9.89 ± 0.21	7.13 ± 0.20	3.77 ± 0.14	5.5	-	(Horstmann <i>et al.</i> , 2019)
A. spp var. VL-44 germinado	9.0 ± 0.03	16.5 ± 0.03	4.7 ± 0.05	3.4 ± 0.01	5.70 ± 0.01 ^a	60.7 ± 0.02	(Chauhan <i>et al.</i> , 2015)

a. Fibra cruda b. Fibra dietaria total

Las propiedades funcionales de la harina de amaranto son asociadas a características como el alto contenido de amilopectina en el almidón (80% - 95%), el pequeño tamaño del granulo de almidón y la afinidad de las proteínas con el medio acuoso (López, Galante, Raimundo, Spelzini, & Boeris, 2019; Sangeeta & Grewal, 2018), González- Luna *et al.* (2018) realizaron la evaluación de la capacidad de retención de agua y aceites a la harina de amaranto, hidrolizado proteico y aislado proteico del *Amaranthus hypochondriacus* L. encontrando un mayor porcentaje de retención de agua para el aislado proteico (333.3%

$\pm 17.8\%$) con relación a la harina ($220.0\% \pm 0.0\%$), mientras que no reportan diferencias significativas con la capacidad de retención de aceite y únicamente indican actividad emulsificante en el aislado proteico ($90.0 \pm 3.3\%$). Una alta capacidad de retención de agua, está asociada con la habilidad que tiene el almidón para atrapar agua en su interior, en los productos alimenticios es un parámetro importante puesto que evita pérdidas de este componente en panes y pasteles (López et al., 2019).

La incorporación de la HA en productos de alto consumo como panes, galletas, pastas y tortas se encuentra en aumento (Venskutonis & Kraujalis, 2013), por ejemplo Tömösközi *et al.* (2011) estudiaron las propiedades reológicas de masas con sustituciones de HT-HA en relación 90:10, 80:20 y 70:30, la sustitución de un 10% no afectó las propiedades reológicas; sin embargo adiciones superiores ocasionaron cambios significativos en la estabilidad, el grado de ablandamiento y elasticidad de la masa así como aumento en la capacidad de absorción de agua, que se reflejó después en pérdida de volumen y firmeza del pan; otro estudio fue el de Chauhan *et al.* (2016) quienes realizaron seis tipos diferentes de formulaciones de galletas batidas con sustituciones de hasta el 100% de HT por HA, evidenciaron que la dureza de las galletas disminuía a medida que aumentaba la proporción de HA; sensorialmente las galletas con hasta un 60% de sustitución tuvieron buena aceptación. En pastas alimenticias se sustituyó parcialmente la sémola de trigo por harina y hojas secas de amaranto, se encontró un perfil nutricional con más proteína, hierro, zinc, magnesio y potasio; además de un menor tiempo de cocción y aumentó en las pérdidas por cocción (Cárdenas-Hernández *et al.*, 2016). Ensayos *in vivo* con ratones *Sprague dawley*, se reportan los efectos en salud para dietas isocalóricas con consumo de panes con amaranto, donde se encontró un mejor control del peso, mejor respuesta glicémica y mejoría en perfil lipídico (Montero-Quintero *et al.*, 2015).

1.4 Aspectos tecnológicos en la evaluación de harinas

El control de calidad de las materias primas hace parte del proceso de elaboración de los productos horneados, debido a la relación que existe entre las propiedades reológicas y funcionales de la masa con las características sensoriales finales de los mismos. Es así que, en la industria se realiza este control mediante el uso de instrumentos como farinógrafo, mixógrafo, extensógrafo, alveógrafo, entre otros. Por otra parte, las

propiedades funcionales de las harinas confieren características de humedad, vida útil y textura (crocancia, suavidad, dureza, etc.) al producto terminado, por esta razón, conocer las interacciones existentes entre el agua, la proteína y el almidón permite desarrollar formulaciones de mejor calidad tecnológica y nutricional.

1.4.1 Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales son únicas para cada tipo de harina y se correlacionan con la utilidad al incorporarse como un ingrediente en un producto alimenticio, estas relacionan la respuesta del almidón a un medio acuoso, diferentes temperaturas y se evalúa la respuesta a la cocción (Alarcón G, López V, & Alonso Restrepo M, 2014; Kurek *et al.*, 2018; Vásquez *et al.*, 2016).

El índice de absorción de agua (IAA) mide el volumen ocupado por el granulo de almidón después de hincharse en exceso de agua y se utiliza como índice de gelatinización (Burgos & Armada, 2015). En la gelatinización, el gránulo de almidón se hincha y luego se rompe, liberando la amilosa del gránulo, lo que ocasiona que el medio acuoso se vuelva más viscoso, a su vez el almidón se vuelve más soluble en agua (Damodaran *et al.*, 1996). El granulo de almidón del amaranto presenta un valor menor de amilosa “así un menor porcentaje de amilosa conduce a una estructura interna más laxa, posibilitando un mayor hinchamiento del granulo” (Calzetta Resio, 1999); la solubilidad y la absorción de agua son parámetros que muestran la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas.

Estas interacciones se afectan por la relación amilosa/amilopectina y por las características de la amilosa y la amilopectina; en el estudio realizado por Rodríguez-Sandoval, Lascano, & Sandoval (2012) se evidenció un mayor poder de hinchamiento, de solubilidad y de absorción en el almidón de papa; lo que asociaron a un alto contenido de grupos fosfato en la amilopectina. Entre tanto, los gránulos de almidón de amaranto son pequeños, 1– 3 μm de diámetro, Singh *et al.* (2014) reportaron un contenido de amilosa entre 4.7 y 12.5% afirmando que el almidón del amaranto en mayor proporción presenta amilopectina; así mismo Kong, Bao, & Corke, (2009) describieron la amilosa como factor importante en las propiedades funcionales del almidón de amaranto, tales como baja temperatura de gelatinización, buena estabilidad de congelación-descongelación, y resistencia al corte mecánico.

El índice de solubilidad en agua (ISA) mide la cantidad de componentes solubles liberados del almidón siendo un indicador de buena digestibilidad del almidón, ya que implica el alcance de gelatinización y dextrinización del mismo (Yousf, Nazir, Salim, Ahsan, & Sirwal, 017); por lo tanto, el grado de solubilidad es atribuible al contenido de amilosa, debido a que se solubiliza con mayor facilidad; el contenido de amilosa del amaranto con relación al trigo es bajo, afectando propiedades como temperatura de gelatinización y viscosidad; en la industria de alimentos materias primas con una baja temperatura de gelatinización son usadas para la elaboración de caramelos masticables, natillas, pudines, entre otros; mientras que a altas temperaturas de procesamiento, como los productos enlatados, se deben tener almidones con mayor temperatura de gelatinización (Hernández-Medina, Torruco-Uco, Chel-Guerrero, & Betancur-Ancona, 2008), la cual es inversamente proporcional al contenido de amilosa presente en el almidón (Delcour & Hosney, 2010).

El poder de hinchamiento (SP) es una medida del aumento en masa del almidón no solubilizado como consecuencia de la absorción de agua por los grupos hidroxilo de los polímeros de amilosa y amilopectina; es una propiedad relacionada con el contenido de amilopectina, debido a que la amilosa actúa como inhibidor del hinchamiento en el granulo de almidón puesto que hay un aumento de la solubilidad del mismo (Burgos & Armada, 2015). Los almidones con mayor poder de hinchamiento pueden ser usados en alimentos que requieren retención de agua, como los productos cárnicos, embutidos, jaleas, entre otros (Meaño Correa, Ciarfella Perez, & Dorta Villegas, 2014). Por otra parte, el poder de hinchamiento se encuentra relacionado con la capacidad de absorción de agua y es una propiedad funcional de las proteínas, fundamental para la preparación de alimentos viscosos tales como sopas, salsas, masas y de productos horneados, donde se requiere una buena interacción proteína-agua (García, Aiello, Peña Chirino, Ruíz-Ramírez, & Acevedo Pons, 2012).

La capacidad de retención de agua (CRA) determina la calidad y habilidad para formar una masa viscoelástica en la mezcla harina-agua (Delcour & Hosney, 2010); las harinas con alta CRA tienen compuestos más hidrofílicos como almidón dañado, proteínas y pentosanos solubles, siendo importante en la elaboración de alimentos viscosos como sopas, salsas, masas y alimentos horneados, productos donde se requiere una buena interacción proteína-agua. En el caso de productos horneados, harinas con una mayor CRA favorecen la obtención de productos más húmedos (Vásquez *et al.*, 2016).

La capacidad de retención de aceite (CRAT) expresa la máxima cantidad de aceite por g de harina que se absorbe cuando existe una mezcla agua-aceite y se expone a una fuerza externa determinada, es útil en la industria de los productos horneados debido a que las texturas crocantes son altamente asociadas a la cantidad de grasa presente en el alimento (Cauvain & Young, 2006), sin embargo, no se desea que esto se perciba sensorialmente, la CRAT está relacionada con el número de cadenas laterales no-polares de las proteínas, también características como la humedad, contenido de lípidos y porosidad influyen en esta propiedad (Vegas, Zavaleta, & Vegas, 2017); su importancia tecnológica se debe a que brinda a estabilidad a productos que contienen grasa en su matriz evitando pérdidas durante la cocción; materias primas con una alta CRAT son usadas en la elaboración de embutidos.

La capacidad emulsificante es una propiedad funcional de las proteínas que se encuentran en la matriz alimentaria; dado que estas interactúan en la interfaz agua - aceite, formando y estabilizando la emulsión. Muchos alimentos son sistemas de emulsiones, dispersiones y espumas; entre proteínas, lípidos y carbohidratos (Shevkani, Singh, Kaur, & Rana, 2014; Zayas, 1997). Por ejemplo, durante la elaboración de galletas se mezclan ingredientes como azúcar, agua, harina y grasa; la harina en este proceso desarrolla el gluten, el cual se encarga de dar estabilidad a la emulsión, esta es importante para que en el horneado se logren características como esponjosidad, crocancia y humedad (Davidson, 2019; Manley, 2011). La capacidad emulsificante de las proteínas depende de la forma, carga e hidrofobicidad de sus moléculas; para producir emulsiones estables, debe seleccionarse un material proteico que sea soluble, capaz de adsorberse rápidamente en la interfaz, con grupos cargados bien distribuidos, y tenga la capacidad de formar una película cohesiva fuerte (Zayas, 1997). Entre tanto, harinas con una alta capacidad emulsificante se pueden emplear en alimentos suaves, cremosos y esponjosos, así como ingredientes en productos como sopas y salsas para mantener las emulsiones.

1.4.2 Reología

La reología es la ciencia que estudia la deformación y flujo de los materiales; en el caso de los alimentos se aplica para evaluar características sensoriales, de procesamiento, manejo, transformación y elaboración de equipos; la matriz de los alimentos consiste en una mezcla generalmente sólido-líquido que desarrolla características únicas y particulares, las cuales se perciben con los órganos de los sentidos y son medidas con

equipos especializados como: texturómetro, reómetro, viscosímetro, farinógrafo, mixógrafo, entre otros (Ahmed *et al.*, 2017). Algunos de los atributos sensoriales percibidos en los alimentos son: cremosidad, jugosidad, suavidad, fragilidad, dureza, esponjosidad, crocancia, pegajosidad, entre otros (ICONTEC, 1996). En el procesamiento de los alimentos se ejercen diferentes fuerzas que generan estrés y presión en la matriz alimentaria con el fin de lograr un producto determinado.

Para las galletas laminadas se producen diferentes deformaciones a la masa, como primera etapa se realiza la incorporación de ingredientes donde la HT se hidrata y mediante el amasado se promueve el desarrollo del gluten; esta masa descansa y a su vez, la levadura inicia el proceso de fermentación, ella se estira, gana volumen y desarrolla sabores característicos; el proceso de laminado, la masa sufre una fuerza de estiramiento y otra de aplanamiento (Menjivar, 1990), por lo tanto, el trigo debe tener unas características específicas de extensibilidad, elasticidad y resistencia a la deformación, las cuales permitan un adecuado moldeo; por último, el horneado de estas galletas es rápido y altas temperaturas lo cual, produce la crocancia en este producto (Cauvain & Young, 2006; Ling Chin & J. Martin, 2014). Por lo anterior, la estabilidad y apariencia de los alimentos dependen de las características reológicas de sus componentes; por ejemplo, la velocidad de flujo a través de tuberías, resistencia al batido o la facilidad para ser empacados (Velásquez- Ciro, 2006).

Reconociendo lo anterior, se han desarrollado diferentes equipos para medir las características reológicas de los alimentos, tales como estrés, presión, resistencia, elasticidad, viscosidad y extensibilidad; entre ellos, el farinógrafo y mixógrafo son mezcladores diseñados para determinar la calidad de harina registrando la fuerza (Nm) generada durante el mezclado de la masa y la resistencia de la masa contra las paletas de la batidora. Por otra parte, el extensógrafo y el alveógrafo miden el comportamiento de la masa durante el estiramiento, en el alveógrafo se aplica una extensión tridimensional de masa, mientras que el extensógrafo mide la extensión uniaxial (Ling Chin & J. Martin, 2014). A continuación, se describirá cada instrumento al detalle:

1.4.2.1 Farinógrafo

Es un equipo que cuenta con unas paletas mezcladoras, que transmiten a un dinamómetro conectado a un equipo de grabación el cual, registra el torque desarrollado durante el

mezclado; este proceso imparte tanto alargamiento como cizallamiento a la masa; la harina y el agua interactúan en el mezclador a alta velocidad; por tanto se elimina la capa externa de las partículas de harina a medida que se hidratan y exponen una nueva superficie de hidratación favoreciendo el desarrollo del gluten (Serna-Saldivar, 2010). Mientras tanto, se forma una masa grumosa que gradualmente se vuelve cohesiva, muestra elasticidad y plasticidad, y modifica sus propiedades viscosas; la mezcla continua reduce la pegajosidad, produciendo una superficie lisa y se observa masa alrededor del mezclador; a medida que el mezclado avanza, los componentes viscosos y elásticos aumentan hasta un punto de consistencia óptima conocido como *pico de desarrollo*. En este momento, el eje del mezclador ejerce el mayor torque registrado o el consumo de energía del motor es el mayor, punto en donde la masa en este estado luce brillante y sedosa; si el mezclado es continuo la consistencia disminuirá, así como el torque y potencia necesaria del equipo; la masa se vuelve más elástica y extensible, si se mezcla en exceso se vuelve nuevamente pegajosa y excesivamente extensible (Ling Chin & J. Martin, 2014).

Como se observa en la Figura 1- 5 el farinógrafo de Brabender consta de ocho partes básicas: tazón para mezclar, dinamómetro, sistema de nivel, sistema de escala, mecanismo de grabación, tablero de instrumentos, termostato y una bureta. Hay instrumentos que pueden procesar desde 50 g hasta 300 g de harina. El ensayo se basa primero en la determinación de la cantidad óptima de agua para lograr una consistencia máxima de 500 unidades farinográficas (FU) o unidades Brabender (UF); la absorción de agua es el porcentaje de agua requerida para centrar la curva en 500 (UF). Posteriormente, la harina con la absorción óptima de agua se procesa de nuevo hasta por 20 minutos para determinar el tiempo óptimo de mezclado y se mide el comportamiento de la harina antes y después de alcanzar la máxima consistencia (500 UF). El análisis de la curva típica del farinógrafo arroja parámetros importantes como el tiempo de llegada para alcanzar primero 500 (UF), tiempo óptimo de mezcla también llamado tiempo de desarrollo de la masa (tiempo requerido para lograr la máxima consistencia), hora de salida o la última vez en que la masa tuvo una consistencia de 500 (UF) y estabilidad de la masa (calculada por la diferencia entre el tiempo de salida y llegada). Otro parámetro importante es el índice de tolerancia de mezcla calculado como la caída en la consistencia, 5 minutos después de alcanzar el tiempo de desarrollo de la masa (Ling Chin & J. Martin, 2014; Serna-Saldivar, 2010).



Figura 1-4 Farinógrafo de Brabender. Fuente: (Tecnosa, 2020b)

En la Figura 1-6 se muestra un farinograma, en el cual el eje x representa el tiempo de análisis (minutos), mientras el eje y indica las unidades de fuerza (Unidades Brabender-UF). La curva se caracteriza por una baja resistencia de la masa al iniciar el mezclado hasta llegar a una consistencia óptima de 500 (UF). La línea **(A)** se traza desde la primera adición de agua e inicio del mezclado, hasta que la parte superior de la curva llegue a 500 (UF) que se denomina el “*tiempo de llegada*”; la línea **(B)** representa el “*tiempo de desarrollo de la masa*” registrando el tiempo a partir de la primera adición de agua hasta la máxima consistencia de la masa (hora pico). La línea **(C)** es el “*tiempo de salida*” en el cual se registra cuando la parte superior de la curva abandona la línea de 500 (UF). La línea **(D)** cuantifica el tiempo de “*estabilidad*” de la masa, siendo la diferencia entre el tiempo de salida y llegada (C-A); por último, el *Índice de Tolerancia a la Mezcla* (MTI) es la diferencia en unidades farinográficas entre la parte superior de la curva en el pico (desarrollo tiempo) y la parte superior de la curva medida exactamente 5 minutos después (Ling Chin & J. Martin, 2014; Serna-Saldivar, 2012).

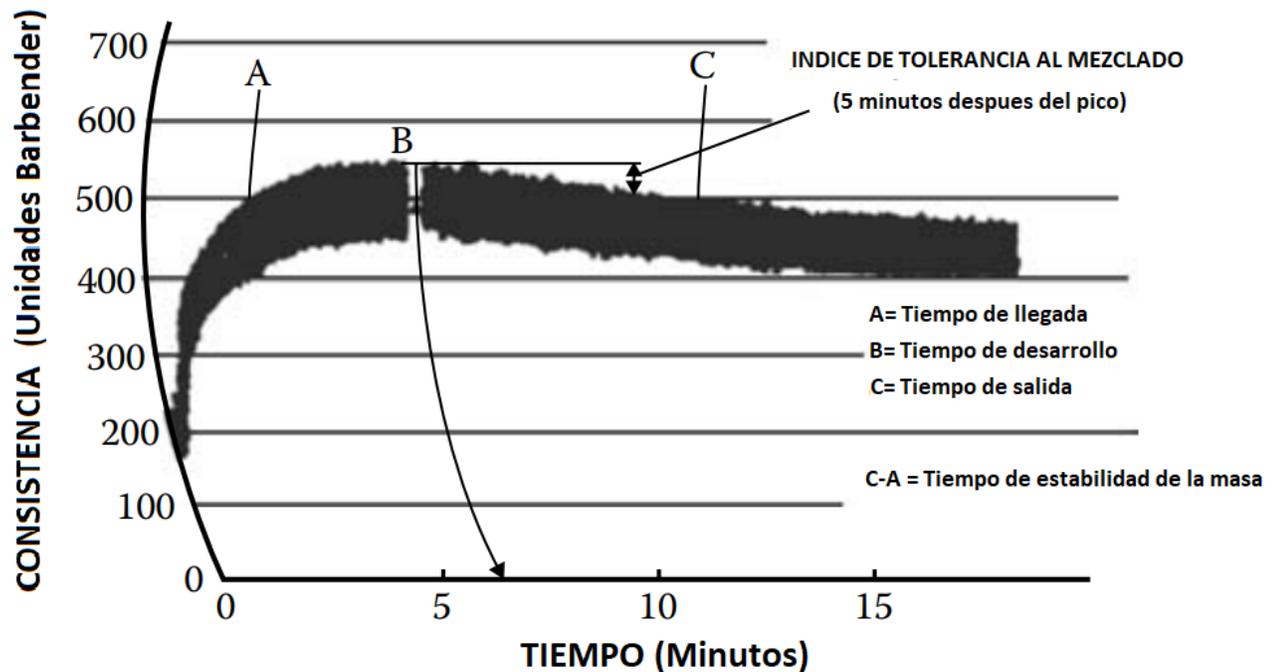


Figura 1-5 Farinograma HT Adaptado de: Serna-Saldivar (2012)

Los resultados de la farinografía son útiles para clasificar las harinas de acuerdo con su consistencia durante el mezclado; como se observa en la Tabla 1-5 se consideran las propiedades de absorción de agua, tiempo de desarrollo e índice de tolerancia al mezclado para la tipificación de la harina en “muy fuerte”, “fuerte”, “resistencia media” y “débil”. Las harinas más utilizadas para productos con levadura como panes y galletas laminadas, son harinas fuertes, con una alta absorción de agua 62 a 64%, un desarrollo de la masa de 4 a 6 minutos, estabilidad de la masa de 8 a 12 minutos y un índice de tolerancia al mezclado de aproximadamente 40 UF (Ling Chin & J. Martin, 2014; Serna-Saldivar, 2012).

Una harina fuerte o débil depende de su contenido de proteína y la calidad del gluten. Una harina fuerte tiene un contenido de proteína entre 12-13%, que generalmente son utilizadas para hacer panes de molde, ya que estos requieren una cantidad de gluten que retenga el gas producido por la levadura durante la fermentación y soportar el crecimiento de la estructura por la salida de vapor de agua sin colapsar, rasgarse, ni agrietar la estructura del pan (Pagani *et al.*, 2014). El rol del almidón es hidratarse, hincharse en el proceso y formar la miga que está siendo soportada por la red de gluten y brindar volumen al producto

(Bonomi *et al.*, 2014). Las harinas débiles son aquellas que están el rango de 8 a 10% de proteína presentando menos resistencia y elasticidad, ya que estas harinas son más dadas a elaboración de tortas y productos de pastelería, alimentos en los cuales se necesita una mayor cantidad de almidón para generar migas más suaves y finas. Aquí, la estructura la dan otros ingredientes como el azúcar y el huevo, perdiendo un poco de importancia el gluten (Manley, 2011; Serna-Saldivar, 2010). Los índices reológicos son directamente proporcionales a la cantidad de gluten, algunos cálculos indican que el gluten es el 80-85% de la proteína de la harina, ya que esta tiene otras proteínas como globulinas y albúminas las cuales no hacen parte de la red de gluten.

Tabla 1-7. Clasificación de la harina de acuerdo a Farinograma

Clasificación	Absorción de agua	Tiempo de desarrollo	Índice tolerancia al Mezclado
Harina muy fuerte	> 63%	> 10 minutos	<10 UF
Harina fuerte	> 58%	4 y 8 minutos	15 y 50 UF
Harina de resistencia media	54% a 60%	2.5 y 4 minutos	60 y 100 UF
Harina débil	<55%	<2.5 minutos	> 100 UF.

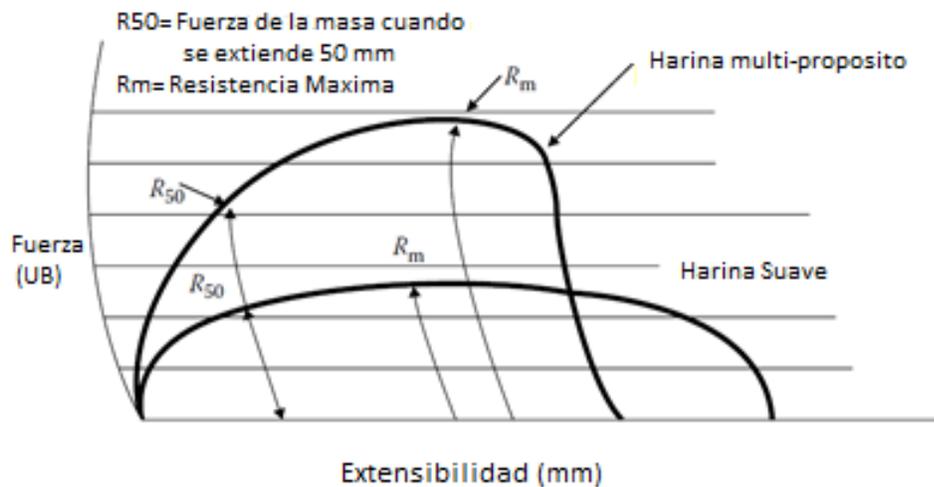
Adaptado de: Serna-Saldivar (2012)

1.4.2.2 Extensograma

El extensógrafo es un instrumento de extensión de carga para la medición empírica de las relaciones de tensión-deformación; la masa se prepara a partir de harina, 2% de sal, y el agua óptima de acuerdo al farinógrafo. El procedimiento consiste en formar trozos de masa de 150 g, a temperatura controlada ($30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa; los cuales se ubican en un cilindro calibrado, en la Figura 1-7 se observa el extensografo de Brabender este cuenta con un cilindro calibrado que se estira a velocidad constante hasta romper la masa, la resistencia de la masa al estiramiento se representa gráficamente en la curva del extensograma que se observa en la Figura 1-8, donde una mayor altura y área bajo la curva indica mayor fuerza de la harina (Ling Chin & J. Martin, 2014; Serna-Saldivar, 2012). El extensograma registra en el eje y la resistencia (R) y en el eje x la extensibilidad (E); también se grafican los puntos R50 cuando la masa se estira 50 mm y Rmax es la altura máxima de la curva. El índice R / E es un parámetro que relaciona la resistencia del gluten y extensibilidad de la masa; por lo tanto, la funcionalidad de la harina se interpreta como la integración del área bajo la curva y es proporcional a la energía (W) que se requiere para lograr la ruptura de la muestra, W está muy relacionada a la fuerza del gluten (Ahmed *et al.*, 2017).



(a)



(b)

Figura 1-6 (a) Extensografo Brabender Fuente: (Tecnosa, 2020a) - (b) Extensograma harina multipropósito. Adaptado de: Serna-Saldivar (2012)

La calidad de la harina durante la cocción se puede evaluar mediante el extensograma debido a que la curva de estiramiento refleja el hinchamiento de la masa durante el horneado, siendo útil para predecir el volumen de los productos horneados, la textura y el efecto de otros ingredientes (Abbasi *et al.*, 2012; Miś & Dziki, 2013). Curvas bajas producen bajas relaciones R_{max} / E y sugieren un predominio de la resistencia sobre la elasticidad, indicando harinas útiles para productos como tortas, ponqués y galletas de masa suave; curvas con picos más pronunciados representan harinas con mayor resistencia, es decir

productos que requieren leudado, estiramiento, laminado y fuerza después de la cocción como: panes, crackers, pizza, entre otros (Ling Chin & J. Martin, 2014; Serna-Saldivar, 2012).

Las diferencias entre las características de viscosidad y elasticidad de las masas están dadas por la composición del gluten dado existen dos grupos de proteínas que son las gliadinas y las gluteninas. Las primeras son proteínas monoméricas de pesos entre los 28000 a los 55000 Da y abarcan del 30 al 40% de la proteína del gluten, son hidrofóbicas y se componen de cuatro tipos que son α , β , γ y ω los cuales contribuyen a la viscosidad y extensibilidad de la masa. No ofrecen resistencia a la extensión y brindan cohesión a la masa. El segundo grupo, las gluteninas se dividen en sub unidades de bajo peso molecular (LMW -32000-35000 Da) y alto peso molecular (HMW – 67000-88000 Da). De acuerdo con algunos estudios las HMW forman secuencias de aminoácidos de estructura tridimensional en forma de muelle mientras que las LMW se unen mediante puentes disulfuro a la estructura brindando estos dos grupos elasticidad y fuerza a la masa (Bonomi *et al.*, 2014; Wieser, 2007).

De acuerdo con lo anterior, curvas altas en un extensograma muestran una respuesta de fuerza del gluten, por tanto, de las gluteninas; esto permite tener productos horneados de estructura como un pan molde. La extensibilidad refleja la respuesta de las gliadinas, haciendo un amasa extensible, la cual permite moldear y laminar los productos sin dificultad; curvas más altas y amplias en extensibilidad son aplicables para harinas panaderas, quienes muestran una relación óptima de fuerza, a su vez requieren extensibilidad para el moldeo, evitando que se rasgue la masa en durante el crecimiento del mismo. Entre tanto, los productos horneados como las tortas, presentan masas con curvas de baja resistencia y mayor extensibilidad; esto debido a un bajo contenido de proteína, que permite una miga suave y esponjosa; por otra parte, los productos laminados como *croissant* y hojaldres, necesitan una resistencia media y buena extensibilidad en la masa para permitir un buen laminado, a su vez la resistencia contribuye a la altura del producto final. En cuanto a galletas se considera primordial la extensibilidad sobre la resistencia ya que no se necesita altura en el producto, pero si suavidad en la masa. (Delcour & Hosney, 2010; Ling Chin & J. Martin, 2014; Ooms & Delcour, 2019; Venskutonis & Kraujalis, 2013).

1.4.2.3 Mixolab

Este instrumento se utiliza para caracterizar el comportamiento reológico de la harina sometida a una doble mezcla y restricción de temperatura; el dispositivo se puede ajustar en cuanto a velocidad de la mezcla, temperatura y absorción de agua, permitiendo analizar con una sola prueba la funcionalidad de proteína y almidón. Fue diseñado por Chopin Technologies en 2004 (Dubat, 2010) y llamado Mixolab® o Mixógrafo, en la Figura 1-8 se observa el equipo. La medición se realiza teniendo en cuenta los principios del farinógrafo y amilógrafo, primero determina las características de la mezcla y concentración de gluten, posteriormente, mide las propiedades de elasticidad, viscosidad y retrogradación de la masa. El instrumento está equipado con dos cuchillas que giran en direcciones opuestas; una de las cuchillas cuenta con un sensor que mide el torque (Nm) ejercido sobre una masa hidratada de aproximadamente 75 g y la consistencia objetivo de 500 UF ó 1.1 Nm (± 0.05 Nm) (Dubat & Boinot, 2012; Serna-Saldivar, 2012).



Figura 1-7 Mixolab. Fuente: (Chopin, 2015)

El proceso de medición se realiza en cinco fases, inicialmente, se evalúa la formación de la masa y su debilitamiento a una temperatura de 30°C por ocho minutos, registrando los parámetros de tiempo de consistencia y estabilidad de la masa; la fase II caracteriza el debilitamiento de las proteínas en función de la reducción del torque a temperatura de 30 a 60° C; en la fase III se observan las propiedades de gelatinización del almidón y actividad de la amilasa a una temperatura de 60–90°C; entre tanto, en la fase IV mantiene a 90°C la masa para evaluar la estabilidad durante la cocción; para evaluar la estabilidad del gel se considera la diferencia entre la fase III y IV; por último la fase V evalúa la retrogradación del almidón mientras desciende la temperatura de 90 a 60°C, midiendo el aumento del torque (Dubat & Boinot, 2012).

La Figura 1- 8 muestra la curva del mixógrama y los diferentes puntos que se grafican en función del torque ejercido, la temperatura y el tiempo transcurrido de la medición; cada fase del proceso representa una característica de la masa. Inicialmente C1 se encuentra en condiciones estándar de temperatura 30°C, velocidad constante 80rpm y se registra en los primeros 8 minutos, a esta temperatura el almidón aun es insoluble en agua y se evalúa el comportamiento de las proteínas; es decir, la fuerza y su capacidad de aglomerarse, el torque objetivo es de 500 UF; dado que esta es la consistencia que permite calcular el porcentaje de absorción óptimo de agua en la harina, también se mide el tiempo de desarrollo y la estabilidad de la masa; este proceso representa el momento del amasado; por tanto a mayor tiempo de desarrollo mayor fuerza de la masa (Dubat & Boinot, 2012; Gujral, Sharma, & Singh, 2020).

En C2 la temperatura es de 30°C hasta 55°C en este se mide el debilitamiento de las proteínas en función del trabajo mecánico y la temperatura, se genera una pendiente llamada α , que evalúa la velocidad del debilitamiento de las proteínas bajo el efecto del calor, en esta etapa el almidón se hincha pero continua con su birrefringencia, el efecto combinado del calentamiento y el esfuerzo cortante mecánico induce al desdoblamiento y desestabilización de las proteínas por tanto la disminución en la consistencia de la masa; la temperatura aumenta hasta 60°C en el minuto 22 donde inicia C3, esto permite que inicie la gelatinización del almidón aumentando la viscosidad del medio; entre C2 y C3 se observa una pendiente β que grafica la velocidad en que aumenta la consistencia, la intensidad del aumento depende de la calidad del almidón; esto se debe a que las proteínas a esta temperatura disminuyen la formación de enlaces internos, ya que el tamaño del granulo de almidón aumenta, inicia la gelatinización y la salida de la amilosa; bajos contenidos de amilosa, presentan una formación de miga muy pegajosas y de bajo volumen (Dubat & Boinot, 2012; Gujral *et al.*, 2020).

Entre C3 y C4 se marca la pendiente γ y la cual registra la velocidad de degradación enzimática de la masa; a 90°C el gluten pierde la capacidad de formar enlaces internos e inicia la desnaturalización de las proteínas, rompiendo los puentes disulfuro; así mismo, C4 indica la estabilidad del gel caliente frente a las amilasas que están afectando la red de almidón y el trabajo mecánico que se le realiza a la masa, es decir que este índice muestra el grado de licuefacción del almidón; cuanto más sea la disminución, mayor es la actividad amilásica; cuando es muy baja esta actividad no favorece la fermentación de la masa,

debido a que no se encuentran azúcares disponibles; finalmente, C5 grafica la retrogradación del almidón durante el enfriamiento, en este caso se evalúa la relación que contiene el granulo de almidón de amilosa y amilopectina, dado que se puede predecir el comportamiento de la miga pues la amilosa es la primera en retrogradarse, a mayor índice mayor retrogradación de la miga; por lo tanto más rápido de endurecerán los producto finales(Dubat & Boinot, 2012; Gujral *et al.*, 2020).

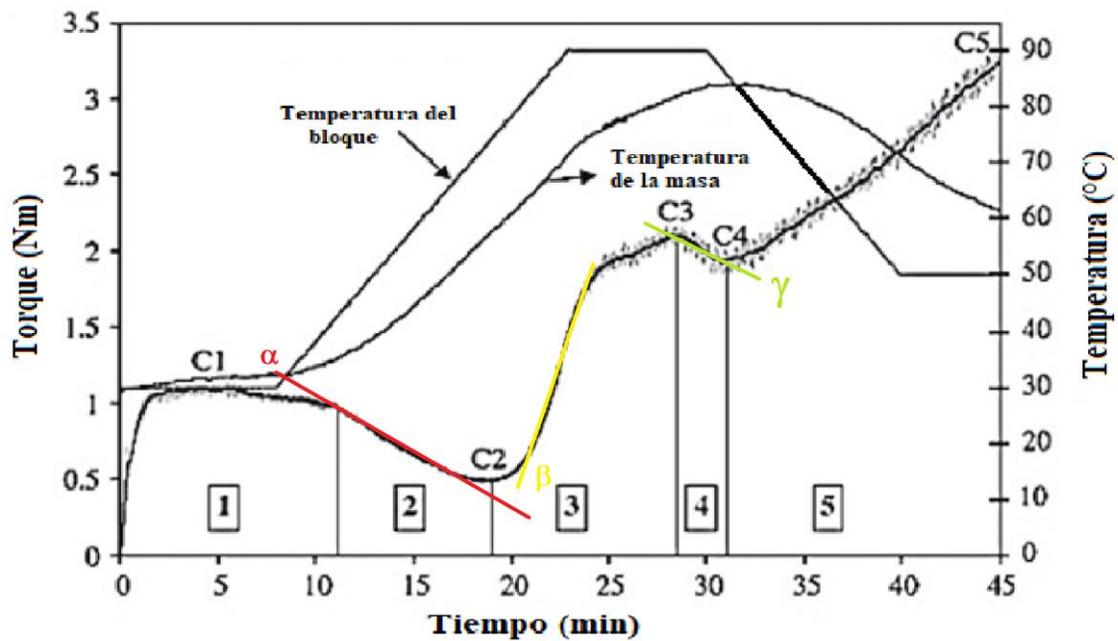


Figura 1-8 Mixógrama harina estándar. Adaptado de: Dubat & Boinot (2012)

Entre tanto, el mixógrafo cuenta con la función perfilador mixolab®, que utiliza el protocolo estandarizado ICC No.173, AACC 54 -60.01 y NF V.03 -764 para una caracterización de la harina y proporciona una interpretación gráfica simplificada de los resultados; convirtiendo la curva estándar en seis índices: mezcla, absorción, retrogradación, viscosidad, amilasa y gluten, puntuados de 0 a 9 (Dubat & Boinot, 2012), en la Figura 1-9 se evidencia el perfil de una HT multipropósito.

Este gráfico es útil para realizar un análisis de calidad de la harina mediante la numeración asignada por el sistema. Inicialmente la absorción de agua está relacionada con la composición de la harina e influye en el rendimiento de la masa, cuanto mayor sea el índice, más agua es absorbida por la harina, característica deseada para elaboración de

pan; en cuanto al índice de amasado, este caracteriza las propiedades de la harina durante el proceso a 30 °C indicando la estabilidad, debilitamiento y el tiempo de desarrollo de la masa; refleja la resistencia de la gliadina y glutenina durante el amasado, sin que pierdan sus propiedades viscoelásticas; cuanto mayor sea el índice, mayor será la estabilidad de la harina al amasado y así la fuerza de la masa; por tanto el gluten que se desarrolla durante esta etapa permite amasado extensivo sin que se dañe la masa, la estabilidad de la harina considera la elasticidad y resistencia; único para cada producto horneado (Dubat & Boinot, 2012).

Por otra parte, el Gluten+ representa las propiedades del gluten cuando se calienta la masa, el aumento de la temperatura produce cambios estructurales en el gluten, como aumento de la hidrofobicidad y pérdida de enlaces disulfuro; esto disminuye la viscosidad de la masa, y por tanto el debilitamiento de la red proteica; es decir que a mayor índice mayor la resistencia del gluten durante el calentamiento; por otra parte, la fuerza del gluten está dada por la presencia de la glutenina, la cual varía de proporción en la harina dependiendo de su variedad genética. Entre tanto, el índice de viscosidad explica el aumento de ésta en la masa durante la fase de calentamiento; se relaciona con la actividad de la amilasa y la calidad del almidón, proporción amilosa: amilopectina, cuanto mayor sea el índice, mayor será la viscosidad de la masa cuando esté caliente, mostrando un mayor contenido de amilosa que amilopectina; esto es deseable productos de galletería suave, ponqués y tortas esponjas (Dubat & Boinot, 2012).

El índice de amilasa depende de la capacidad del almidón para resistir la amilólisis, cuanto mayor sea el índice, menor será la actividad de la amilasa, siendo un factor de calidad para la miga de pan; finalmente el índice de retrogradación depende de las características del almidón como la proporción amilosa: amilopectina y la presencia de almidón dañado; sí mayor es el índice, menor será la vida útil del producto, por ejemplo el endurecimiento en el pan es un fenómeno de retrogradación del almidón (Delcour *et al.*, 2012; Dubat, 2010; Dubat & Boinot, 2012; Ooms & Delcour, 2019; Serna-Saldivar, 2012)

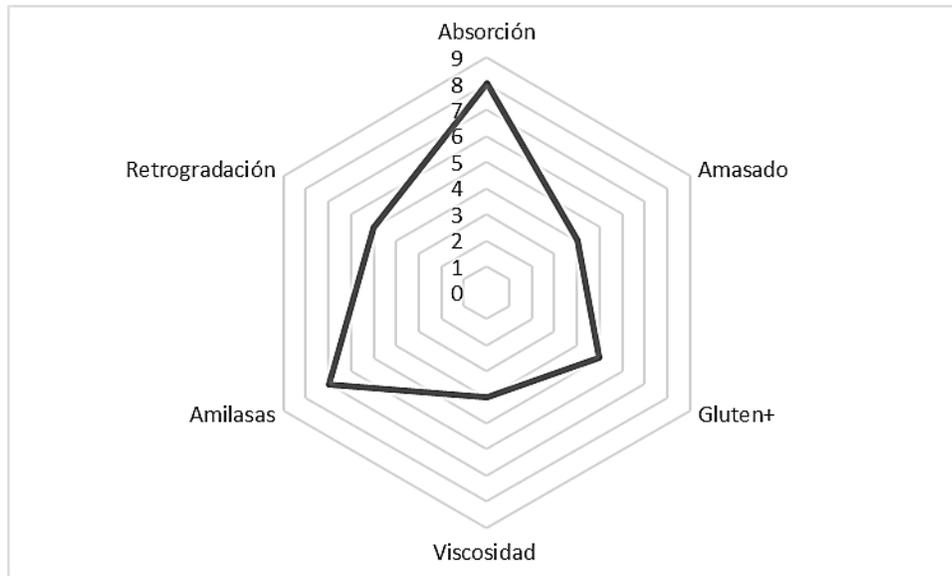


Figura 1-9 Perfil mixolab HT multipropósito. Adaptado de: Dubat & Boinot (2012)

1.4.2.4 Índice de caída

El instrumento empleado para calcular el índice de caída (IC) es el *Falling Number*® de *Perten-Hagberg* como se observa en la Figura 1-10 consiste en unos tubos de viscosímetro de precisión estandarizados, termómetro de precisión calibrado, molino de muestra y pipeta automática. El método está estandarizado por las normas: ISO No. 3093, ICC No. 107-1 y AACC No. 56-81.03. La técnica consiste en la evaluación de la consistencia de una suspensión de harina, registrando el tiempo que le toma a un émbolo caer a una distancia fija entre la suspensión de harina acuosa caliente sometida a licuefacción; el método se basa en la capacidad de la α -amilasa para licuar el gel de almidón, el contenido de α -amilasa es inversamente proporcional al tiempo de caída del émbolo (AACC, 1999). De manera indirecta, el IC cuantifica los niveles de α -amilasas, β -amilasas y proteasas que hidrolizan principalmente gránulos de almidón dañado y proteínas, respectivamente (Delcour & Hosney, 2010; Kent & Evers, 1994).

Entre tanto; la germinación de los granos genera la activación de la enzima α -amilasa; esta hidroliza el almidón en los enlaces α -1-4 de manera desordenada produciendo pequeños trozos de almidón llamados dextrinas, la producción excesiva de azúcares aumenta el proceso de fermentación y afecta el color del producto favoreciendo las

recciones de Maillard; entonces cuando tenemos el producto terminado se observan panes con migas pequeñas o pegajosas y productos de color oscuro; también se afecta negativamente el proceso de malteado (Kiszonas, Engle, Pierantoni, & Morris, 2018; Serna-Saldivar, 2010). La medición del IC puede variar desde 62 s para granos muy germinados con actividad enzimática excesiva hasta más de 400 s para granos de áreas cálidas y secas; es decir que la actividad de la α -amilasa es inversamente proporcional al tiempo de caída; granos muy germinados afectan la fermentación y el procesamiento de los productos horneados por lo tanto son destinados para alimentación animal y granos con baja actividad enzimática deben ser adicionados con enzimas para mejorar su fermentación (Delcour & Hosney, 2010; Serna-Saldivar, 2010).

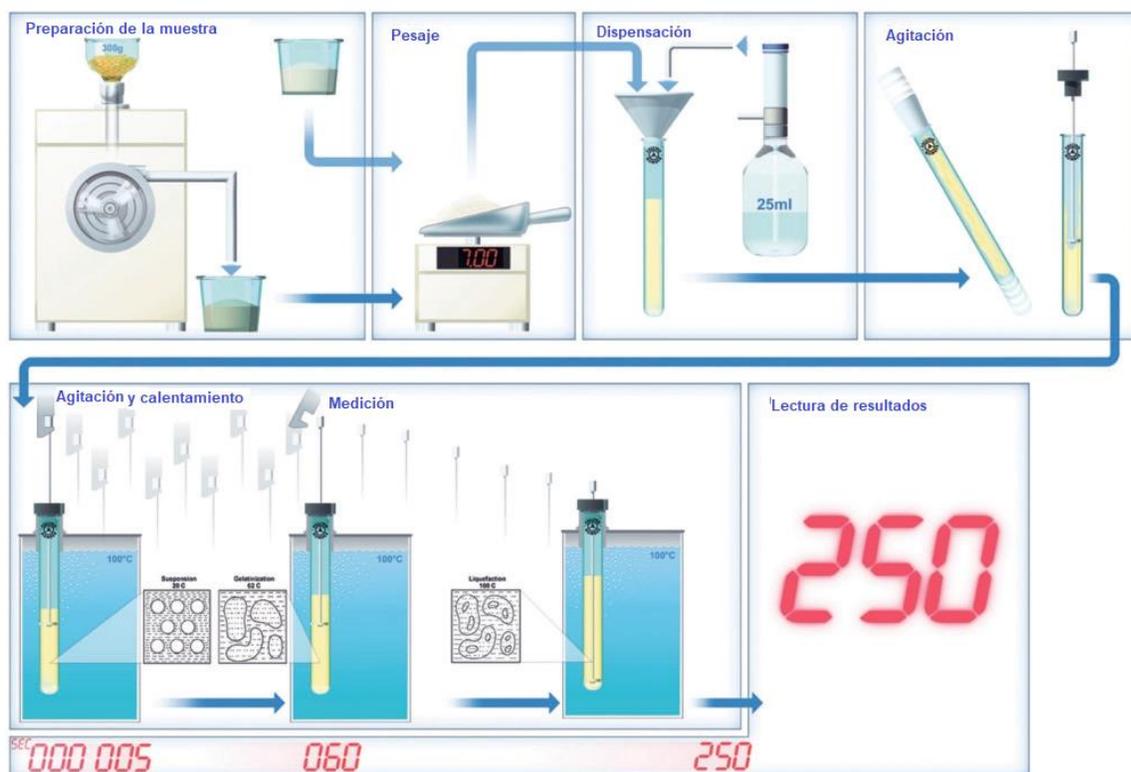


Figura 1-10 Falling Number® de Perten-Hagberg. Fuente (Bakerpedia, 2019)

Por otra parte, es necesaria una cierta cantidad de α -amilasa para que se produzca un horneado adecuado, dado que rompe las cadenas del almidón en azúcares simples que mejoran el proceso de fermentación, proporcionando gradualmente sustrato para la levadura; la malta diastásica es especialmente importante en las formulaciones donde no

se usa azúcar, como en el pan francés; también aumenta la elasticidad y pegajosidad de la masa; por lo tanto, la cantidad de enzima presente influye directamente en la calidad del pan producido (Cauvain & Young, 2006). En la Tabla 1-6 se relacionan los índices de caída y algunos de los efectos en la miga de pan. En el caso de las galletas cracker el índice de caída ideal es similar al del pan dado que requiere fermentación prolongada, para favorecer los sabores característicos.

Tabla 1-8. Actividad enzimática en HT según su índice de caída

Índice de caída	Actividad enzimática	Efecto en la miga
62 a 250	Alta	Pegajosa y de bajo volumen
250 a 300	Normal	Alto volumen con textura firme y suave
> 300	Baja	Seca con volumen disminuido

Adaptado de: Serna-Saldivar, (2012).

1.4.2.5 Almidón dañado

El equipo utilizado para medir el porcentaje de almidón dañado es el Sdmatic® de *Chopin Technologies* como se observa en la Figura 1-11, está compuesto por un vaso de reacción, sonda de medida, agitador, resistencia de calentamiento, plataforma vibradora que suministra la muestra dispuesta en una cuchara a velocidad controlada; en la pantalla digital del equipo se realiza la programación inicial y se observan los resultados obtenidos. El principio del dispositivo es un método amperométrico, norma AACC 76-33.01; se basa en la formación de complejo de amilosa-yodo con el almidón dañado, la disminución en iones I^{3-} libres en solución se mide amperométricamente y se convierte en contenido de almidón dañado (McAllister, Walker, & Panozzo, 2011). Se considera que la capacidad de unión de la amilopectina al yodo es mínima 1 g de yodo / 100 g de amilopectina), la amilosa tiene un promedio de 19 g / 100 g de amilosa (Monnet et al., 2019).

El procedimiento consiste en introducir en una solución de yoduro de potasio la muestra, previamente un electrodo mediante corriente eléctrica conduce a la formación de iones I^{3-} en concentración definida. A su vez, estos iones crean una corriente eléctrica que se mide en tiempo real. A medida que se introduce la harina, los iones I^{3-} se unen a amilosa disponible, reduciendo así la medición eléctrica de la solución. La prueba finaliza después de una duración estandarizada de 10 min. La variable medida es el porcentaje de absorción de yodo (AI%), que aumenta con el aumento del daño al almidón. La variable se transforma

a unidades AACC o Farrand utilizando curvas de calibración (Chopin Technologies, 2015; Monnet et al., 2019).

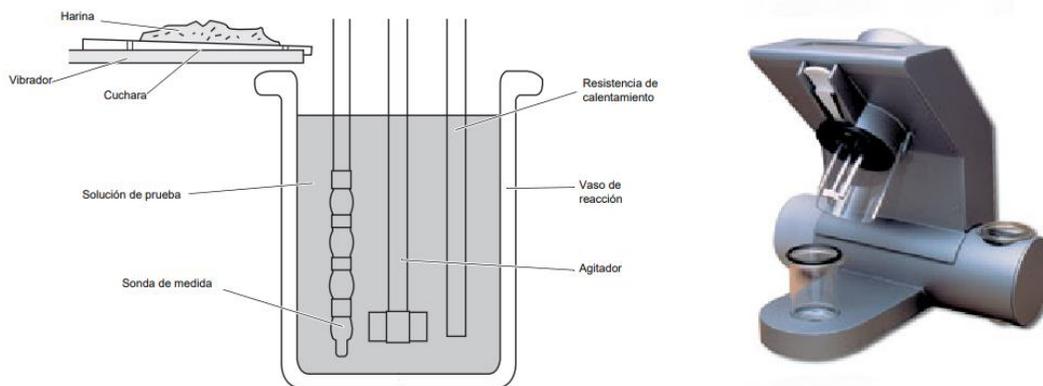


Figura 1-11 Sdmatic® *Chopin Technologies*. Fuente (Chopin, 2015)

La cantidad de almidón dañado en las harinas de trigo sirve para identificar la capacidad de absorción de agua, actividad de la levadura durante la fermentación y propiedades de manipulación de la masa, como adherencia y resistencia a la deformación; puesto que el almidón dañado absorbe entre 2 y 3 veces más agua que el almidón no dañado, que solo absorbe alrededor del 40% de su propio peso; en trigos suaves se considera normal del 1% hasta el 4%, mientras que en trigos de dureza media o alta hasta desde un 6% hasta 12% (Bakerpedia, 2020a).

1.4.2.6 Gluten húmedo y seco

Mediante el uso del sistema Glutomatic® de Instrumentos Perten, Suiza, se realizó la medición del gluten húmedo y seco de las masas; como se observa en la figura 1-12 el sistema es de 3 pasos; inicialmente el Glutomatic se encarga de amasar y lavar el gluten con una solución al 2% de cloruro de sodio, hasta eliminar el almidón y los componentes solubles; este proceso se lleva a cabo durante 5 minutos, luego la masa de gluten lavada se centrifuga durante 4 minutos, realizando el debido pesaje; finalmente para realizar la medición del gluten seco se utiliza el Glutork®, que es una plancha la cual seca la masa (Perten Instruments, 1996).



Figura 1-12 Glutomatic System®. Fuente: (Perten Instruments, 1996)

La determinación del gluten húmedo y seco indican la calidad del gluten en la masa, más allá de la cantidad de proteína reportada por análisis proximal; es considerado como de alta calidad aquellas harinas que reportan más del 30%- 45% de gluten húmedo y 10% de gluten seco, lo cual se puede relacionar con lo reportado en los análisis por método de Kjeldahl; altos porcentajes de gluten son deseables para elaborar panes (Bakerpedia, 2020b).

Capítulo 2: Propiedades físico-químicas y reológicas de las harinas de trigo y amaranto

Se realizó un análisis proximal de la HT y la HA con el fin de conocer el aporte de proteína, grasa y fibra, identificar sus especificaciones técnicas y la formulación del producto final. Por otra parte, se midieron las propiedades funcionales de las harinas y mezclas de acuerdo con el diseño experimental, las cuales fueron el índice de absorción y solubilidad en agua, el poder de hinchamiento, la capacidad de retención de agua y la actividad emulsificante; estas propiedades reflejaron el comportamiento del granulo del almidón durante el calentamiento y mezclado, así como las condiciones de procesamiento necesarias para el desarrollo de galletas tipo cracker.

2.1 Materiales y métodos

2.1.1 Materiales

Se utilizó HT multipropósito, de la productora Harinera del Valle con lote G147191114 y certificado de calidad D-4497, HA marca Prodelagro con ficha técnica 1538 de julio de 2019 y fibra soluble Orafti® HSI de la comercializadora Beneo, con lote 8000600009 RHSNP7CNP7. En el anexo A se adjuntan las fichas técnicas de los productos mencionados. Las harinas fueron almacenadas en bolsas resellables, a temperatura ambiente, en la Planta de Vegetales del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia.

2.1.2 Métodos

Esta caracterización se desarrolló en tres etapas, primero se realizó un análisis proximal de las harinas de trigo y amaranto, para conocer el contenido de macronutrientes, ceniza y humedad; la segunda y tercera etapa se basan en un diseño experimental completamente al azar de dos factores donde se midieron las propiedades funcionales de las mezclas de las harinas y un análisis reológico de las masas.

2.1.2.1 Análisis proximal de las harinas de trigo y amaranto

Humedad

De acuerdo con el método AOAC 925.09b se pesaron aproximadamente 3g de la muestra, en capsula de porcelana, luego en un horno de convección de aire forzado con temperatura controlada a 105°C se calentó la muestra durante 3 h; finalmente, se dejó la muestra en un desecador durante 24 h hasta peso constante. El contenido de humedad de la muestra fue calculado por diferencia de peso y se expresa en base porcentual; es decir, g por cada 100 g de alimento, ecuación 2-1. (AOAC, 2005).

Ecuación 2-1

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso perdido (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Cenizas

Se aplicó el método AOAC 923.03. Para esta medición, se tomó una muestra de aproximadamente 2 g dispuesta en crisol de porcelana con tapa, primero se realizó una pre-calcinación de la muestra durante 2 h hasta eliminar los vapores, el crisol con muestra se ubicó en la mufla a 550°C durante toda la noche; para retirar la muestra se disminuyó la temperatura hasta 200°C, se tapó el crisol para evitar pérdidas de cenizas; finalmente se dejó enfriar en desecador durante 24 h hasta peso constante. El contenido de cenizas se registró en base porcentual, ecuación 2-2 (AOAC, 2005).

Ecuación 2-2

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso ceniza (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Lípidos

Se empleó el método Soxhlet para determinar los lípidos, previo al ensayo se hizo un lavado de los balones con hidróxido de sodio (NaOH) al 10%, agua destilada y purgado con el solvente de extracción; luego se calentaron en un horno a 105°C durante la noche para asegurar que su peso fuera estable; y luego se enfriaron y ensamblaron junto con el cartucho. La muestra utilizada fue secada, envuelta en papel filtro y ubicada en el cartucho, se registró el peso del balón vacío y posterior a la extracción. El método de extracción es semicontinuo con éter de petróleo durante 3 h según el método AOAC 920.39. El contenido de grasa se registró en base porcentual, ecuación 2-3 (AOAC, 2005).

Ecuación 2-3

$$\% \text{ Ceniza}_{b.s.} = \frac{\text{Peso ceniza (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Proteína

Con el método de Kjeldahl, se realizó la determinación del contenido de proteína mediante digestión con ácido sulfúrico concentrado 0.1077N y catalizador de selenio, luego se destiló con 100 mL de ácido bórico al 4% e indicador Tashiro en destilador automático Kjeltec™; el cual, adicionó 50 ml de NaOH al Erlenmeyer, se calentó nuevamente hasta obtener un destilado verde, se dejó enfriar y se tituló con ácido clorhídrico 0.0989N como indica el método AOAC 960.52 (AOAC, 2005); para el cálculo de proteína se utilizó el factor de conversión correspondiente a 6,25 para HA (García-Salcedo, Torres-Vargas, & Ariza-Calderón, 2017; Nascimento *et al.*, 2014) y 5,7 para HT (CODEX, 1995). La cantidad de proteína se obtiene multiplicando el porcentaje de nitrógeno total por su factor de conversión como se observa en la ecuación 2-4, para las proteínas vegetales cuyo contenido en nitrógeno oscila entre 16.4% y el 18% aproximadamente se aplica el factor de conversión 5.7 (Serna & Lopez, 2010).

Ecuación 2-4

$$\% \text{ Nitrogeno} = V \times N \times \frac{14}{1000} \times \frac{100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

$$\% \text{ Proteína} = \% N \times F$$

Donde V es el volumen gastado de HCl (ml), N es el título de HCl (normalidad) y F es el factor para el cálculo de la proteína.

Fibra dietaria total

La fibra dietaria total se determinó con el método AOAC 985.29, usando el kit de Sigma-Aldrich TDF-100 (Estados Unidos), el cual consiste en digerir la muestra con amilasa, proteasa y amiloglucosidasa, hasta obtener la fibra dietaria como el residuo no digerido por los tratamientos enzimáticos. Se pesó una muestra de aproximadamente 1 g, de manera secuencial se realizó una digestión con 0.10 mL de α -amilasa a un pH de 6, luego se incubó por 15 minutos hasta alcanzar 95°C, se dejó enfriar y se ajustó nuevamente el pH con 0.275N NaOH hasta 7.5 ± 0.2 para adicionar 0.1 mL de proteasa, se incubó la muestra durante 30 minutos en un baño de agitación a 60°C, se dejó enfriar nuevamente para ajustar el pH con 0.325N HCl a 4.2 y luego se adicionaron 0.1 mL de amiloglucosidasa. Se incubó por 30 minutos a 60°C nuevamente, y finalmente se adicionaron 4 volúmenes de etanol al 95% a cada muestra, y las soluciones se dejaron precipitar durante toda la noche. Se realizó una filtración al vacío y lavado del residuo con 60 mL de etanol al 78%, 20 mL de etanol al 95% y 10 mL de acetona. Se secó el residuo durante toda la noche a 105°C y se registró el peso. Las muestras se realizaron por duplicado para luego realizar la corrección por proteína y ceniza, los resultados se expresan como porcentaje de fibra (AOAC, 2005).

Ecuación 2-5

$$\% \text{ FDT} = \frac{\text{Residuo (g)} - \text{Ceniza (g)} - \text{Proteína (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Carbohidratos

Para el cálculo de carbohidratos se consideró que la sumatoria total de los componentes proximales: humedad, ceniza, grasa, proteína, fibra y carbohidratos es 100g por cada 100g

de porción comestible; por lo tanto, para este trabajo de grado se calcularon los carbohidratos por diferencia, siguiendo la ecuación 2-6 (Bhat, Satpathy, & Gupta, 2015).

Ecuación 2-6

$$\text{Carbohidratos totales (\%)} = 100 - (\% \text{ proteína} + \% \text{ lípidos} + \% \text{ humedad} + \% \text{ ceniza})$$

2.1.2.2 Propiedades funcionales de las mezclas de harinas

En la Tabla 2-1 se muestra la matriz de diseño donde se reemplazó en proporciones másicas 90:10 y 80:20 la HT por HA como primer factor siguiendo la metodología de Sanz-Panella (2013) y en el segundo una adición de fibra soluble (inulina), en porcentajes 8.4% y 16.7%; los cuales fueron calculados en relación con el aporte de fibra que se debe encontrar en una porción de galleta de 30g para que esta se rotule como un alimento buena fuente de fibra como lo estipula la Resolución 333 de 2011 del Ministerio de Protección Social.

Tabla 2-1 Matriz diseño experimental

Ensayo	Relación HT: HA	% de adición de fibra soluble
Control	100 harina trigo	0
M1	90:10	8.4
M2	90:10	16.7
M3	80:20	8.4
M4	80:20	16.7

Índice de absorción de agua

Este método se realizó por triplicado con base en lo reportado por Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012). Se pesaron aproximadamente 0.5 g de la muestra en un tubo de centrifuga previamente pesado y rotulado y se adicionaron 6 mL de agua destilada. En un baño termostato llevado a 30°C se incubó la muestra durante 30 minutos, posteriormente se centrifugó a 500 rpm durante 20 minutos, el tubo se retiró de la centrifuga observando dos fases, el sobrenadante se retiró sin descartarlo y se tomó el peso del gel retenido; para expresar el índice de absorción de agua (IAA) se aplicó la ecuación 2-7, y el resultado se expresó como g de gel retenido por g de la muestra.

Ecuación 2-7

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Índice de solubilidad en agua

Se midió el volumen del sobrenadante obtenido en el análisis del IAA; se filtró y se tomaron 2 mL del filtrado para secarlo en horno durante 4 h a 90°C; se retiró del horno la caja de Petri y posterior al enfriado se registró el peso, para el cálculo del índice de solubilidad en agua (ISA) se aplicó la ecuación 2-8 (Rodríguez-Sandoval *et al.*, 2012).

Ecuación 2-8

$$ISA (\%) = \frac{\text{Peso seco sobrenadante (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} * 100$$

Poder de hinchamiento

Con base en lo reportado por Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012), se siguió la ecuación 2-9, para calcular el poder de hinchamiento, la cual relaciona información obtenida en el IAA y el ISA.

Ecuación 2-9

$$PH = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)} - \text{Peso seco del sobrenadante (g)}}$$

Capacidad de retención de agua y aceite

Se siguió la metodología de Chaparro *et al.* (2014) con algunas modificaciones; en un tubo de centrifuga previamente pesado y rotulado se pesó por triplicado 1 g de muestra, la cual se dispersó en 30 mL de solución de NaCl al 2% y 30 mL de aceite de maíz en el caso de la CRAT; luego se agitó la muestra en vórtex durante 10 minutos; en un baño termostato llevado a 85°C, se calentó la muestra por 15 minutos, finalmente se dejó enfriar para

centrifugar la muestra a 5000 rpm por 15 minutos, se eliminó el sobrenadante y se registró el peso del gel retenido. Para el cálculo de la CRA y CRAT se aplicó la ecuación 2-10.

Ecuación 2-10

$$CRA (\%) = \frac{\text{Peso del gel}(g)}{\text{Peso de la muestra}(g)}$$

Actividad emulsificante

Se aplicó la metodología de González *et al.* (2018) con modificaciones; se pesaron por triplicado 0.5 g de muestra en tubo de centrifuga previamente pesado y rotulado, se adicionaron 10 mL de agua destilada, y se agitó en vortex durante 15 minutos, luego se ajustó el pH a 7,0; se adicionó el volumen restante en agua destilada para 15 mL; seguido de esto se adicionaron 15 mL de aceite de maíz y se homogenizó la suspensión a 5000 rpm en ultra-turrax (IKA T18 Basic, Alemania) durante 3 minutos, finalmente la muestra se centrifugó a 1300 rpm por 5 minutos. La actividad emulsificante (AEM) se calculó con la ecuación 2-11.

Ecuación 2-11

$$AEM (\%) = \frac{\text{Volumen final de la emulsión (mL)}}{\text{Volumen inicial de la emulsión(mL)}} * 100$$

2.1.2.3 Propiedades reológicas de las masas

La evaluación reológica de las masas consistió en una repetición por muestra para los diferentes equipos a emplear, lo cual se consideró como indicador de calidad de las mezclas de harinas. Esta actividad se realizó en el laboratorio de Industrias Ramo S.A.S.

Farinografía

Mediante el uso del protocolo de simulación que incluye el mixolab, se obtuvo el farinograma, los valores y las unidades obtenidas son comparables con las evaluadas en el farinograma de Brabender, la consistencia pico es igual a 1,1 Nm \pm 0,05 Nm, equivalente a 500 unidades farinográficas (UF), la simulación consta del protocolo Chopin S; el cual, fija una temperatura de prueba constante a 30°C, tiempo de 30 minutos, velocidad de funcionamiento a 80 rpm y el valor objetivo de la prueba es 1,1 Nm; el equipo usa

algoritmos que entregan información comparable con la curva del farinograma (Dubat & Boinot, 2012).

Extensografía

El extensograma se obtuvo con el extensografo de Brabender, inicialmente se preparó la masa con la amasadora del farinógrafo en consistencia estándar (500 UF) , se emplearon 300 g de harina y 6 g sal, se amasó durante 1 minuto y se dejó reposar 5 minutos; nuevamente se amasó durante 2 minutos más; posteriormente, la masa se dividió en trozos de 150 g y se moldeó cada pieza 20 veces con un redondeador del equipo; seguido de esto se le dio forma de barra a cada masa, la cual se maduró en una cámara termostática por 45 minutos; finalmente la masa se ubicó en el área del extensor; equipado con un gancho desplazable; el cual, estiró la masa hasta su ruptura, el proceso se repitió tres veces por cada masa, para completar 135 minutos. Como resultado se obtuvieron tres curvas por cada ensayo de 45 minutos.

Mixolab

Se realizó el mixolab con el protocolo Chopin + estándar, se ajustó la humedad para cada muestra y la cantidad inicial de muestra usada fue 45 g; para la corrida se fijaron los siguientes parámetros: velocidad de mezclado 80 rpm, peso de la masa 75, g, temperatura del tanque 30°C, temperatura del agua de hidratación 30°C; durante la medición se agregó harina y agua hasta obtener 75 g de masa con una consistencia máxima de 1,10 N.m ($\pm 0,05$) en la fase de prueba. En la Tabla 2-2 se observan los parámetros usados durante el ensayo. Se obtuvieron las curvas por cada muestra; las cuales, se divide en cinco fases diferentes: I. amasado inicial, II. debilitamiento de proteínas, III. gelatinización del almidón; IV. estabilidad de cocción; V. retrogradación del almidón para un tiempo total de análisis de 45 minutos.

Índice de Caída

Mediante el instrumento *Falling Number* 1900 (Perten Instruments AB, Suiza), se obtuvo el número de caída, el equipo cuenta con baño termostato, el cual debe permanecer hirviendo, se pesaron 7.00 g ± 0.05 g de la muestra, se corrigió la humedad a estándar de 14%, adicionando con embudo a tubo de viscosímetro, posteriormente se adicionaron 25 ml ± 0.2 ml de agua destilada, esta se realizó por duplicado; los tubos se agitaron manualmente durante aproximadamente 40 s, verificando que no quedaran residuos secos

de harina. Se inició el test en el equipo inmediatamente se termina la agitación, los resultados se reportó el promedio de lo obtenido para los dos tubos en segundos.

Tabla 2-2 Protocolo estándar Chopin+

Protocolo estándar Chopin+	
Velocidad de mezcla	80 rpm
Torque objetivo (C1)	1.1 Nm ($\pm 0,05$)
Peso de la masa	75g
Temperatura del tanque	30°C
Temperatura fase I	30°C
Duración fase I	8 minutos
Gradiente de temperatura	4°C/min
Temperatura fase II	90 °C
Duración fase II	7 minutos
Gradiente de temperatura	- 4°C/min
Temperatura fase III	50 °C
Duración fase III	5 minutos
Tiempo total de análisis	45 minutos

Adaptado de: Dubat & Boinot, (2012)

Almidón dañado

Con el Sdmatic® (Chopin Technologies, Francia) se obtuvo el porcentaje de almidón dañado para las muestras, inicialmente se pesaron los agentes 120 ml \pm 0.1 ml de agua destilada, 3 g \pm 0.2 g de ácido bórico, 3 g \pm 0.2 g de yoduro de potasio; los cuales se mezclaron en el vaso de reacción y se adicionó 1 gota de tiosulfato de sodio, esta mezcla se llevó a 35°C, 1 g \pm 0.1 g de la muestra se ubica en el dispensador marcado; finalmente el vaso de reacción se ubicó en el equipo y se introdujo el mezclador, medidor y electrodo; el equipo inicia la mezcla y la muestra mediante el vibrador se adiciona de manera controlada por el equipo. Los resultados se observaron en la pantalla del equipo después de 6 a 7 minutos y son reportados en porcentaje almidón dañado.

Gluten húmedo y seco

Para medir el gluten húmedo y seco de las masas se utilizó el Glutomatik System® (Perten Instruments AB, Suiza), para la medición se realizó el lavado de las mezcladoras con agua destilada, en los vasos de lavado se ubicó un filtro de 88 micrones de apertura, el cual se lavó con agua destilada, se pesaron 10 g \pm 0.1 g de muestra y se ubicaron en el vaso de lavado, luego se adicionaron 4.8 ml de solución NaCl 2% y se homogenizó suavemente, los vasos se ubicaron en el equipo; el mezclador del Glutomatik® agitó durante 20 s la

muestra e inicio el proceso de lavado durante 5 minutos con un bombeo de 50 ml a 56 ml por minuto. Seguido de esto se retiró el gluten y se secó con centrifuga 2015, la muestra se dispuso en casete específico, a una velocidad de 6000 rpm \pm 5 rpm; para el pesaje del gluten húmedo se combinó el gluten que se encontraba en el tamiz y el gluten del casete, este es gluten total. Por último, en el Glutork® se secó durante 4 minutos el gluten en plancha a 150°C, os resultado se expresaron en porcentaje de gluten húmedo y seco.

2.1.2.4 Análisis Estadístico

Las muestras se evaluaron por triplicado para análisis proximal y análisis de propiedades funcionales, en el caso de las propiedades reológicas estas se realizaron a una única muestra. Los resultados obtenidos por triplicado se promediaron; los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias entre medias fueron establecidas a través de una prueba de Tukey.

2.2 Resultados y discusión

2.2.1 Análisis proximal de las harinas de trigo y amaranto

Los resultados promedio del análisis proximal de la HA y HT se encuentran registrados en la Tabla 2-3. Los valores encontrados se ajustaron a la normatividad vigente en Colombia para la HT (ICONTEC, 2007a) donde la humedad máxima permitida es 14.5%. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura desarrolló el manual técnico para el manejo y producción del amaranto, en este reporta que la harina integral de amaranto tiene una humedad que oscila entre 8.3% a 10.1% (FAO, 1997), mientras que la humedad obtenida en este estudio fue de 10.7% \pm 0.05% siendo superior al reporte. El contenido de agua en las harinas debe ser controlado para evitar contaminación por hongos, formación de micotoxinas o degradación de la calidad de la harina (ICONTEC, 2007c). García-Salcedo *et al.* (2017) realizaron la caracterización de HA especie *Caudatus* reportando una humedad de 8.62% \pm 0.02%, valor cercano al obtenido en este trabajo de grado; en cambio Nascimento *et al.* (2014) reportan para la misma especie una humedad mayor, equivalente a 10.50% \pm 0.04%, que se puede asociar con el tipo de molienda del grano. Para las especies *Hypocondriacus* y *Cruentus* se reporta un contenido de humedad entre el 10.5% y el 12.7%, respectivamente (Aguilar *et al.*, 2013;

Escudero *et al.*, 2004; Miranda-Ramos *et al.*, 2019). En harina de origen africano se reportó un contenido de humedad para la harina de 4.17% \pm 0.28% (Tanimola, *et al.*, 2016).

En un ensayo realizado por Horstmann *et al.* (2019) se tomó la HA y se germinó obteniendo un valor de humedad de 11.29% \pm 0.20%, contrastado con lo reportado por Chauhan *et al.* (2015) de 9.0% \pm 0.03%. Esta propiedad depende de las condiciones de almacenamiento del grano, humedad en la molienda y almacenamiento de la harina. Por otra parte, para la HT la humedad es uno de las propiedades que más se reporta, ya que esta inversamente relacionada con el contenido de materia seca, afectando los rendimientos de los productos procesados, también incide en la estabilidad de la harina durante el almacenamiento y los costos de manejo; es así que Banerji, Ananthanarayan, & Lele (2018) en trigo variedad *M.P Sihore*, reportan un valor cercano a 6.8 %, en cambio para el trigo rojo de invierno se reportan valores que oscilan entre 11.54% a 16.5% (Bian *et al.*, 2015; Tömösközi *et al.*, 2011), mientras que para trigo suave se encuentran niveles de humedad entre 9% a 10% (Nieto-Mazzocco *et al.*, 2020; Saeleaw & Schleining, 2010).

Tabla 2-3. Resultados Análisis proximal

Componente	Harina Trigo (%)	Harina Amaranto (%)
Humedad	12.22 \pm 0.22	10.70 \pm 0.05
Ceniza ^a	0.70 \pm 0.02	2.46 \pm 0.04
Proteína ^a	13.63 \pm 0.53	15.85 \pm 0.22
Lípidos ^a	1.33 \pm 0.07	4.58 \pm 0.53
Fibra dietaria total ^a	2.32 \pm 0.14	9.53 \pm 0.05
Carbohidratos ^a	82.24 \pm 0.78	77.40 \pm 0.79

^a base seca

La diferencia de los valores reportados para el contenido de cenizas encontradas entre las harinas de trigo y amaranto se asocia con la mayor cantidad de minerales presente en la HA; así mismo, el endospermo de la HT tiene en promedio 0.35% de ceniza y un contenido bajo de minerales, dado que la mayoría se encuentran en las capas que recubren el grano (Serna-Saldivar, 2010), para amaranto la especie *hypocondriacus* tiene un contenido de cenizas en el rango de 1.7% a 3.6% (Aguilar *et al.*, 2013; Banerji *et al.*, 2018; Kaur *et al.*, 2010; Miranda-Ramos *et al.*, 2019; Nieto-Mazzocco *et al.*, 2020). El amaranto especie *caudatus* cultivado principalmente en la región andina contiene entre 2.20% hasta 2.89%

de cenizas (Kaur *et al.*, 2010; Nascimento *et al.*, 2014) similar a lo encontrado en este trabajo de grado $2.46\% \pm 0.04\%$; Chauhan *et al.* (2015) y Alonso-Miravalles & O'Mahony (2018) reportan respectivamente 2.91% y 2.4% de cenizas. En la HT la ceniza es una medida de pureza, ya que el endospermo presenta hasta un 0.35%. En la actualidad, el contenido de cenizas se reporta en promedio entre 0.50 a 0.55%, siendo un factor de calidad de la molienda y extracción del grano, el objetivo de esta es separar el endospermo de sus cubiertas, durante la cual se genera el salvado de trigo; a medida que aumenta el rendimiento de la harina, aumenta la cantidad de salvado y aumenta el contenido de cenizas. Por tanto, el contenido de cenizas mide el grado de extracción del endospermo, esto afecta negativamente la calidad de la cocción de la harina (Czaja, Sobota, & Szostak, 2020). Sin embargo, para la HT integral, dado que contiene parte del salvado, se reporta un contenido de 1.40% (Banerji *et al.*, 2018; Nieto-Mazzocco *et al.*, 2020). En general, las harinas de trigo con menores extracciones contienen entre 0.09% y 0.65% de cenizas (Bian *et al.*, 2015; Nieto-Mazzocco *et al.*, 2020; Saeleaw & Schleining, 2010; Tömösközi *et al.*, 2011), en este estudio se encontró $0.70\% \pm 0.02\%$.

Los pseudocereales tienen un perfil nutricional característico, ya que cuentan con una mayor cantidad de proteína en comparación a los cereales, como se observa en la Tabla 2-3 se obtuvo $13.63\% \pm 0.53\%$ para HT y $15.85\% \pm 0.22\%$ para HA; las proteínas de amaranto están compuestas por aproximadamente 52% de albúminas, 16% de globulinas, 2% de prolaminas y 31% glutelinas (Janssen *et al.*, 2017); en cambio en la HT entre el 80% a 85% son gliadinas y gluteninas y 20% al 25% albuminas y globulinas (Delcour *et al.*, 2012). La relación entre globulinas, albuminas y prolaminas en el amaranto es benéfica para personas con enfermedad celiaca, ya que el contenido de prolaminas encontrado en los cereales es tóxico para esta población sensible (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010). Los porcentajes de proteína reportados para la variedad *hypocondriacus* en un estudio realizado por Kaur *et al.* (2010) se encuentra entre 6.6% hasta 19.8%, mostrando una gran diferencia entre cultivares, asociado a las condiciones postcosecha del grano de amaranto; en cambio, para la variedad *caudatus* se reportó un mayor contenido de proteína que varió entre 14.8% hasta 16.7%. Por otra parte, para la variedad *hypocondriacus* otros reportes presentan valores entre 14.7% hasta 17.6% (Aguilar *et al.*, 2013; Banerji *et al.*, 2018; Miranda-Ramos *et al.*, 2019; Nieto-Mazzocco *et al.*, 2020).

En la variedad *cruentus* se reporta 12.4% a 16.6% (Aguilar *et al.*, 2013; Escudero *et al.*, 2004; Tanimola *et al.*, 2016). Entre tanto Chauhan *et al.* (2015) encontraron que la harina del grano germinado aumentaba su porcentaje de proteína de $15.05\% \pm 0.05\%$ a $16.5\% \pm 0.03\%$, esto se asocia a la síntesis de enzimas durante la germinación, lo que podría haber resultado en la producción de algunos aminoácidos durante la síntesis de proteínas. Cabe resaltar que la relación de aminoácidos esenciales lisina, metionina, cisteína e histidina se encuentra en mayor proporción en la proteína del amaranto, debido a la alta proporción de globulinas y albuminas; gracias a los aminoácidos esenciales presentes en el amaranto el valor biológico de la proteína es mayor (D'Amico & Schoenlechner, 2017).

La fracción lipídica en la HA se encuentra en mayor proporción que en la HT, los ácidos grasos polinsaturados en el amaranto son aproximadamente entre el 71.8% al 72.44% de la fracción lipídica; en mayor proporción se encuentran los ácidos grasos linoleico (C18: 2, ω -6) y α -linolénico (C18: 3, ω -3), hasta en un 46% se reporta el ácido linoleico y 1.4% para él α -linolénico, por tanto, en la relación ω -6/ ω -3, el ácido graso ω -6 es alto, respecto a los tocoferoles el contenido mayoritario es para el δ -tocoferol en promedio $7.66 \mu\text{g/g}$ (Tang *et al.*, 2016) . El amaranto presenta un mayor contenido de ácidos grasos saturados palmítico C16:0 y esteárico C18:0 en comparación con la quinoa (Martínez-Villaluenga *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2016). De la misma forma, entre los lípidos presentes en la HT, el principal reportado es el ácido graso linoleico (C:18:2) y los galactolípidos (Melis & Delcour, 2020). Entre tanto, García-Salcedo *et al.* (2017) caracterizaron la semilla de amaranto de la especie *A. caudatus* L., una de las más producidas en Colombia, encontrando un porcentaje de lípidos del 5.37%, dato coincidente con el reportado en este estudio. Sin embargo, Kaur *et al.* (2010) reportan que los de tipo *A. hypochondriacus* contenían entre 7% a 8% lípidos mientras que los de tipo *A. caudatus* contenían 4.8% a 5.4%; para la especie *cruentus* aporta entre 8.7% a 9.2% (Aguilar *et al.*, 2013; Escudero *et al.*, 2004). La HT en cambio presenta un bajo contenido de lípidos, esto se debe al retiro del germen durante la molienda, los reportes se encuentran entre 0.2% a 2% (Banerji *et al.*, 2018; Miranda-Ramos *et al.*, 2019; Saeleaw & Schleining, 2010; Yang, Guan, Zhang, Li, & Bian, 2020), información coincidente con lo obtenido en este estudio de $1.33\% \pm 0.07\%$.

Los carbohidratos calculados por diferencia se encuentran en una mayor proporción para la HT con relación a la HA 82.24% y 77.40%, respectivamente. Singh & Punia (2020) reportan para amaranto un porcentaje de $61.43\% \pm 0.52\%$ un poco menor que este estudio.

Igualmente, Preetham Kumar *et al.* (2016) reportan entre 58.1% para grano con una fracción fina de la capa y 67.5% para harina refinada en semillas de amaranto con diferentes grados de molienda. Para la especie *A. hypochondriacus* hay reportes con mayor contenido de carbohidratos totales entre 65% a 73% (Banerji *et al.*, 2018; Nieto-Mazzocco *et al.*, 2020). Entre tanto Tanimola *et al.* (2016) reportan para *A. cruentus*, un 71.09% \pm 1.32% con un contenido de 18.62% de amilosa y 81.38 % de amilopectina; es decir que la HA contiene en mayor proporción amilopectina en comparación a la HT. Chauhan *et al.* (2015) reportan 62.41% \pm 0.03% de carbohidratos para HA cruda, cuando esta se germina disminuye a 60.7% \pm 0.01%, esto se asocia al aumento de la actividad enzimática (α -amilasa), que aumenta la degradación de los azúcares libres en el grano. Alonso-Miravalles & O'Mahony (2018) caracterizaron el almidón presente en la HA, reportando tamaños de gránulo entre 2.5 y 3 μ m clasificados como muy pequeños, esto presenta ventajas al incorporarse en matrices alimentarias dado que actúa como estabilizante; la cantidad de almidón reportado para el amaranto se encuentra entre un 52.8% a 62.7% (Alonso-Miravalles & O'Mahony, 2018; Horstmann *et al.*, 2019; Nascimento *et al.*, 2014; Rastogi & Shukla, 2013). En cambio, la HT presenta como nutriente principal los carbohidratos, entre el 70% al 85% de su composición, con una mayor cantidad de almidón 72% y mayor contenido de amilosa 25% a 35% (Saeleaw & Schleining, 2010). En harina refinada se reporta un contenido de almidón de 85% (Cappelli *et al.*, 2018).

Entre los carbohidratos presentes en las harinas se encuentra la fibra dietaria; el amaranto es alimento fuente de este nutriente con un aporte entre el 8% al 25% (D'Amico & Schoenlechner, 2017), en cambio, la HT presenta bajos contenidos de fibra entre 0.12% a 3%, debido a al grado de molienda (Bian *et al.*, 2015; Magnus *et al.*, 2000). Preetham *et al.* (2016) reportan 2.35% de fibra soluble y 6.66% de fibra insoluble para un total de 9.01% de fibra dietaria total, valor aproximado a lo obtenido en este ensayo 8.54%. Por otra parte, Lamothe *et al.* (2015) caracterizaron la fibra en la quinoa y el amaranto, reportando que la fibra insoluble (FDI) está compuesta principalmente por ácido galacturónico, arabinosa, galactosa, xilosa y glucosa y es el 78% de la fibra dietética; también indicó que la FDI estaba compuesta por homogalacturonanos y ramnogalacturonano-I con cadenas laterales de arabinan (55-60%), así como xiloglucanos altamente ramificados (30%) y celulosa; el 22% restante de la fibra dietética total es soluble compuesta por glucosa, ácido galacturónico y arabinosa; para el amaranto, la xilosa también fue un componente

importante. Los xiloglucanos constituían el 40-60% de la FDS y los polisacáridos pécticos ricos en arabinosa representaban el 34-55%.

2.2.2 Análisis funcional de las harinas

En la Tabla 2-4 se observan los resultados obtenidos de las propiedades funcionales de las mezclas de harinas. Respecto al índice de absorción de agua (IAA) no se encontraron diferencias significativas entre las harinas de trigo, de amaranto y la mezcla de HT:HA en relación 80:20 con un 8.4% de inulina, esto se asocia con la presencia de fibra y almidón dañado en la HA puesto que tienen una mayor tendencia a absorber agua (Alonso-Miravalles & O'Mahony, 2018; Gupta & Bhattacharya, 2017); de la misma forma, la inulina tiene más grupos hidrófilos disponibles que pueden unir el agua aumentando el IAA (Blanco Canalis, León, & Ribotta, 2019; Sharma, Singh, Hussain, & Sharma, 2017; Shoaib *et al.*, 2016). Entre tanto, la HT puede presentar una pérdida de la estructura cristalina del almidón lo que ocasiona un aumento de la absorción (Saeid *et al.*, 2015).

Tabla 2-4 Resultados propiedades funcionales

Propiedad	Harina de trigo	Harina de amaranto	M1	M2	M3	M4
IAA g/g	1.75 ± 0.07 a	1.76 ± 0.04 a	1.63 ± 0.02 b	1.58 ± 0.01 b	1.76 ± 0.03 a	1.59 ± 0.03 b
ISA g/g	2.24 ± 0.18 a	2.88 ± 0.26 b	3.49 ± 0.35 c	3.86 ± 0.15 d	5.08 ± 0.40 e	5.64 ± 0.51 e
SP g/g	1.79 ± 0.07 a	1.80 ± 0.05 a	1.68 ± 0.03 b	1.64 ± 0.02 c	1.84 ± 0.05 d	1.69 ± 0.03 b
CRA g/g	6.91 ± 0.11 a	8.41 ± 0.06 b	7.93 ± 0.25 b	6.81 ± 0.29 c	7.63 ± 0.13 d	6.69 ± 0.36 d
CRAT g/g	2.67 ± 0.11 a	3.05 ± 0.09 b	3.04 ± 0.11 b	2.84 ± 0.09 c	2.99 ± 0.09 d	2.99 ± 0.07 d
AEM ml/ml	34.02 ± 2.67 a	76.81 ± 5.65 d	62.70 ± 2.64 c	62.10 ± 2.99 c	58.17 ± 1.77 b	33.92 ± 3.96 a

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%

Saeid *et al.* (2015) reportan para seis marcas de HT en Bangladesh un IAA que oscila entre 1.697g/g y 1.897g/g, debido al contenido de fibra de las harinas evaluadas y la pérdida de la estructura cristalina en el almidón, siendo muy similar a lo obtenido en este estudio 1.59 g/g ± 0.03 g/g a 1.76 g/g ± 0.03 g/g. Así mismo, en el estudio de Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012) se reportó para HT un IAA de 1.92 g/g coincidente con este estudio, sin embargo

para la harina de quinua y papa no se encontraron asociaciones. En otro estudio realizado por Gamel *et al.* (2006) a la HA *caudatus* y *cruentus* cocinado, germinado y crudo, se presentan valores entre 1.4 g/g y 5.1 g/g, hallando una asociación directa con el aumento de la temperatura y el IAA.

Por otra parte, el índice de solubilidad en agua (ISA) depende de la estructura semi cristalina del almidón, su ruptura y las moléculas de agua que están unidas por puentes hidrógeno a los grupos hidroxilo libres de la amilosa, la amilopectina, azúcares, algunas proteínas y fibras solubles (Sue Shan, Sulaiman, Sanny, & Nur Hanani, 2015). En los resultados obtenidos se encontraron los ISA más bajos para la HT y HA 2.44 g/g \pm 0.18 g/g y 2.88 g/g \pm 0.26 g/g, respectivamente. En el caso de la HT, Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012) reportan 2.09 g/g \pm 0.26 g/g y Calzeta Resio (1999) 2.12 g/g para HA, siendo información coincidente con este estudio. Se sabe que el almidón del amaranto se solubiliza fácilmente en agua (Kong *et al.*, 2009) y se observó un efecto sinérgico con la inulina dado que el ISA aumentó; por ejemplo, las mezclas de harinas que contenían una relación 80:20 HT-HA y diferentes porcentajes de adición de inulina 8.4% y 16.7% presentaron un ISA de 5.08 g/g \pm 0.40 g/g y 5.64 g/g \pm 0.51 g/g. También se evidenció en este estudio que a mayor contenido de fibra presentada por la mezcla mayor es su ISA, información concordante con lo hallado por Yousf *et al.* (2017) en un ensayo con harina de arroz y harina de zanahoria deshidratada, donde encontraron una relación directa con el aumento del ISA y la cantidad de fibra en las mezclas, así como que la humedad afecta inversamente este índice.

El poder de hinchamiento (SP) no presentó diferencias significativas entre la HT y HA. Esta característica mide el hinchamiento del gránulo de almidón durante la gelatinización; la amilopectina contribuye a la absorción de agua, hinchamiento y pegado de los gránulos de almidón, mientras que la amilosa y los lípidos tienden a retardar estos procesos (Blazek & Copeland, 2008). Una relación inversa se encontró entre el contenido de amilosa y el SP, en cambio una relación directa se reporta entre el grado de polimerización (DP) > 35 de la amilopectina y el SP (Blazek & Copeland, 2008). Esta similitud entre el SP de las dos harinas indica que sus contenidos de amilosa y amilopectina son similares (Nascimento *et al.*, 2014; Tanimola *et al.*, 2016); sin embargo el SP está asociado con la cantidad de grupos fosfato que se encuentra en el almidón, es así que los tubérculos y las raíces

presentan una mayor SP, en comparación con el amaranto, dado su bajo contenido de fosforo.

El SP del almidón de amaranto tiene un patrón de hinchamiento diferente con relación a los cereales; esto se debe a su morfología granular puesto que los lípidos de los cereales forman complejos amilosa-lípido e inhiben el hinchamiento (Zhu, 2017), siendo beneficioso para productos viscosos a temperatura de cocción como sopas instantáneas, tortas y galletas suaves; además el almidón del amaranto permite desarrollar productos que mantengan un gel estable a alta temperatura, como los extruidos (Hevia, Berti, Wilckens, & Yévenes, 2002). Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012) reportan un SP de 1.96 g/g para HT, información coincidente con este estudio; sin embargo para la HA el SP es bajo con relación a lo reportado por Calzetta Resio (1999), el cual a medida que aumentó la temperatura aumentaba el hinchamiento del granulo de almidón desde 2.27 g/g a 50°C hasta 9.82 g/g a 90°C. Un SP alto indica un mayor pico de viscosidad, favorable para el desarrollo de productos viscosos a temperatura de cocción. Adicionalmente las harinas que tienen un bajo SP y bajo ISA hacen que los productos horneados no se esponjen bien (Kusumayanti, Handayani, & Santosa, 2015), entonces para la elaboración de galletas cracker, es necesario tener un SP alto que permita la retención de aire en las ampollas que se forman en la lámina para obtener la textura característica. Las mezclas entre harinas e inulina no mostraron tendencia y se mantuvieron en el rango de 1.64 g/g a 1.84 g/g.

La mayor capacidad de retención de agua (CRA), reportada fue para la HA (8.41 g/g \pm 0.06 g/g) en comparación con las otras muestras, se relaciona con el tamaño de partícula, la HA presenta un tamaño de partícula menor a 132 μ m/ 85 % en cambio la HT 200 μ m/ 100 % (Mlakar, Bavec, Turinek, & Bavec, 2009), así mismo el porcentaje de almidón dañado afecta de manera directa la CRA (Zhu, 2017). Las mezclas en cambio presentaron diferencias significativas, aquellas que presentaban una relación 90:10 (HT-HA), el nivel de adición de inulina afectó negativamente la CRA dado que esta compite con las proteínas para retener el agua y se hidrata más rápidamente (Liu *et al.*, 2016b), sin embargo, no se encontraron diferencias en la sustitución 80:20 (HT-HA). Esto indica que una mayor proporción de amaranto en la mezcla mejora la CRA sin que tenga influencia el nivel de inulina adicionado. Por otra parte, lo reportado por Singh & Punia (2020) para la CRA de la HA fue de 4.20 g/g; se asocia con características por variedad como estructuras fibrosas sueltas y más ramificadas en las proteínas, un mayor tamaño de poro, mayor superficie por unidad masa y naturaleza hidrófila (Boucheham, Galet, Patry, & Zidoune,

2019; Liu *et al.*, 2019). En productos viscosos que requieran una mayor interacción proteína- agua se pueden emplear las harinas con una mayor capacidad de absorción de agua; por ejemplo en panes y pasteles una alta CRA previene la pérdida de agua, por otro lado, en galletas cracker que requieren una baja humedad en el producto terminado y no es deseable una alta CRA (López *et al.*, 2019).

La capacidad de retención de aceite (CRAT), muestra la interacción de la proteína con los lípidos, estas interacciones son asociadas a la hidrofobicidad de los grupos presentes en las albuminas y globulinas; de acuerdo con la Tabla 2-4 el valor más alto reportado fue para la HA de $3.05 \text{ g/g} \pm 0.09 \text{ g/g}$, esto se relaciona con una proporción superior al 80% de las fracciones proteicas antes mencionadas. En el estudio de Stone *et al.* (2019) se comparó la CRAT de harinas de leguminosas y cereales, reportando un valor mayor para las leguminosas, dado que presentan un contenido mayor de proteína y menos almidones en comparación con los cereales; para harinas de trigo y trigo *durum* reportaron un CRAT de $1.50 \text{ g/g} \pm 0.14 \text{ g/g}$ y $1.39 \text{ g/g} \pm 0.04 \text{ g/g}$, menores a lo obtenido en este estudio para HT $2.67 \text{ g/g} \pm 0.11 \text{ g/g}$. Las mezclas de HT -HA en relación 80:20 presentaron una mayor CRAT respecto a la HT, mejorando este parámetro; dado lo anterior, una mayor proporción de HA permite la elaboración de productos con un mayor contenido de lípidos sin afectar la palatabilidad y friabilidad, característica deseada para producto horneados como laminados y galletas suaves, congelados o listos para freír, también se puede emplear como estabilizante en emulsiones de productos cárnicos, masas congeladas y helados (Stone *et al.*, 2019).

La actividad emulsificante (AE) de la HT fue de $34.02 \text{ ml/ml} \pm 2.6 \text{ ml/ml}$; en cambio la HA presentó la mayor actividad emulsificante, duplicando el resultado con $76.81 \text{ ml/ml} \pm 5.65 \text{ ml/ml}$ que se asocia con características del almidón del amaranto tales como un tamaño de partícula más pequeño, lo que mejora su AE (Zhu, 2017). Esta propiedad se relaciona con el contenido de proteína de la HA, el cual es más alto y presenta una mayor proporción de proteínas de tipo albúmina y globulina que pueden migrar a la interfaz aceite-agua más rápido que las prolaminas (Stone *et al.*, 2019). Igualmente esta característica se encuentra en las harinas de leguminosas y es menor para los cereales (Stone *et al.*, 2019). Dado lo anterior, se encontró que las mezclas de harinas con inulina mejoran la capacidad emulsificante de la HT, además la inulina ha sido utilizada como sustituyente de grasa, dado que es soluble en agua, puesto que sus grupos hidroxilo son más propensos a

interactuar con las moléculas de agua, por tanto, el valor obtenido aumentó para las mezclas con inulina al 8.4% y 16.7%. Sin embargo, en la mezcla de harinas en relación 80:20 (HT-HA) con un 16.7% de inulina, la CRAT no presentó diferencias significativas con la HT. Esto se puede presentar porque la inulina favorece las interacciones entre ella y las proteínas del amaranto, disminuyendo los espacios libres para las interacciones con la interfaz agua-aceite, afectando negativamente la estabilidad de la emulsión (Lopez-Castejon, Bengoechea, Espinosa, & Carrera, 2019). Sin embargo, la AE reportada para la HT es adecuada para la formación de masas estables, por tanto, el efecto de la inulina no afecta el desempeño de la masa para la formación de productos como galletas laminadas.

2.2.3 Resultados análisis reológicos

2.2.3.1 Farinografía

En la Tabla 2-5 se observan los resultados obtenidos de la farinografía; el porcentaje de absorción de agua (%WA) es uno de los parámetros primordiales para el desarrollo de productos amasados, dado que con esta se conoce la cantidad necesaria de agua para lograr una consistencia apropiada de amasado (500 UF). La HT tuvo el mayor porcentaje de absorción de agua 63.2%, mientras que para HA se encontró un 56.9%. En cambio, las mezclas presentaron una disminución entre el 5% al 27.5% en esta variable. Las mezclas que contenían un 16.7% de inulina disminuyeron notoriamente el %WA dado que sus grupos funcionales son más hidrofílicos y compiten con los gránulos de almidón por el agua disponible, además forman una barrera alrededor de las partículas de almidón disminuyendo las interacciones agua – almidón, también restringen el hinchamiento de las partículas de almidón, así como aumenta la presión osmótica en las proteínas (Codinã, Zaharia, Sanduleac, & Dabija, 2017; Luo *et al.*, 2018). Esta información es coincidente con lo reportado por Luo *et al.* (2018), quienes encontraron que a mayor contenido de inulina se afecta en mayor proporción el %WA, además de cambiar la cristalinidad del granulo de almidón.

Tabla 2-5. Resultados farinografía

Parámetro	MUESTRA					
	H. Trigo	H. Amaranto	M1	M2	M3	M4
Absorción agua (%)	63.2	59.2	58.4	36	53.4	42.1
Desarrollo (min)	2	2	2	2	2	2
Estabilidad (min)	12.5	1.5	12	1.5	6	1.5
Debilitamiento (Nm)	0.05	0.35	0.02	0.09	0.09	0.00
C. Max (Nm)	1.07	1.08	1.07	1.15	1.11	1.09

Dentro de las fibras solubles, solo se conoce que la inulina afecta negativamente esta propiedad, puesto que la adición, por ejemplo, de fibra de guisante aumentó el %WA. Respecto a las mezclas de harinas, Sindhuja, Sudha, & Rahim (2005) reportan para mezclas de HT con HA, una absorción de agua de 57.54% a 60.62%, donde disminuye el %WA con el aumento de HA, información coincidente con este estudio, también asociado a la disminución parcial del contenido de gluten en las mezclas. Es así que, la proteína de trigo puede absorber un poco más de agua que su propio peso. Cauvain & Young (2006) establecen que la capacidad de absorción aumenta 1% (p/p) por cada 1% de proteína adicional. Además, Jaksics *et al.* (2020) en un ensayo de cultivares de trigo con un contenido normal (25% -28%), ceroso (0% -2%) y alto en amilosa (> 28%), reportaron que el %WA era mayor para las harinas con un alto contenido de amilosa entre el 80% al 85% y las variedades cerosas presentaban entre 62% a 69%; este porcentaje coincide con lo obtenido para HT y HA 63.2% y 64.8% respectivamente, indicando que las harinas presentan una mayor proporción de amilopectina, lo que concuerda con el %WA obtenido en este ensayo. Un mayor porcentaje de amilopectina favorece la formación de geles estables, que se mantienen a temperaturas bajas, viable para el desarrollo de masas congeladas.

El tiempo de desarrollo (TD) de las harinas y sus mezclas no presentaron diferencias, esto indica que la sustitución por HA en un 20% no afectó el desarrollo del gluten de la HT, además que, la inulina no interfirió en el desarrollo de la red de gluten. Por otra parte, la hidratación completa de las mezclas se logró al mismo tiempo que el control; en el estudio de Luo *et al.* (2018), los diferentes niveles de inulina adicionados a la HT suave y dura no presentaron diferencias significativas en el TD, no obstante afirman que el contenido de

gliadina afecta proporcionalmente el TD y el debilitamiento de la masa, TD menores a tres minutos son característicos de trigos suaves. Banerji *et al.* (2018) elaboraron mezclas de hasta un 50:50 HT-HA, donde la HT tiene un TD de 4 minutos, que representa el doble de los reportado en este estudio, y a medida que aumenta la sustitución por HA disminuye hasta 1.5 min con un 50:50; entre tanto, otros estudios presentan datos contrarios en los cuales el TD aumenta a medida que aumenta la sustitución de HT por HA; correlacionando los componentes del almidón del amaranto puesto que contienen menos amilosa y mayor amilopectina, lo que retrasa su hidratación y la morfología del granulo favorece una mayor absorción de agua en comparación con el almidón de trigo, además se altera la proporción de proteínas solubles en agua y retrasa la formación del gluten en la masa (Sindhuja *et al.*, 2005; Tömösközi *et al.*, 2011), esto puede indicar que la HT empleada en este estudio es de trigo duro, el cual tiene un mayor contenido de glutenina y menor contenido de gliadinas(Luo *et al.*, 2018).

La estabilidad de la HT fue la mayor reportada, esto refleja la fortaleza de la red de gluten durante el tiempo de amasado; puesto que, la HA al no contener gluten se debilitó en mayor proporción y su estabilidad fue la menor reportada junto con las mezclas en proporción 90:10 y 80:20, estas tienen en común la adición del 16.7% de inulina, que se asocia con la dificultad que presenta la red de gluten para formarse, dado que la inulina en porcentajes superiores al 10% compite por el agua disponible y disminuye la estabilidad de la masa (Luo *et al.*, 2018). Es así que la mezcla en relación 90:10 no se vio afectada por las variables estudiadas puesto que la sustitución de 10% HA y 8.4 % inulina mantuvo una estabilidad de 12 min; para el caso de la relación 80:20, un 20% de sustitución sí afectó la fuerza del gluten y por tanto disminuyó a la mitad el tiempo de estabilidad. La estabilidad y el debilitamiento se relacionan con la fuerza de las proteínas en las mezclas, es así que el debilitamiento más rápido y mayor fue para la HA, dado que esta sin mezclarse con otro ingrediente, no es estable al amasado y tampoco presenta características de tenacidad y elasticidad, sino de viscosidad; por tanto el torque presentado por las mezclas no se afectó por las sustituciones de HT:HA; a pesar que la HA tiene un mayor debilitamiento de las proteínas, debido a su bajo contenido de prolaminas (Venskutonis & Kraujalis, 2013); adicionalmente, la inulina aumentó la viscosidad de la masa impidiendo que el debilitamiento fuera mayor e inclusive fue nulo en la mezcla 80:20 con 16.7% de inulina.

La consistencia máxima registrada 1.15 Nm fue para la mezcla 90:10 HT-HA con 16.7% de inulina, lo anterior se asocia a las interacciones que se generan entre el almidón de la

HA con el gluten y el efecto de la inulina, la cual mediante los enlaces de puentes de hidrogeno fortalece la red de gluten; en la mezcla 80:20 también se presentó un torque mayor a 1.1 Nm, esto confirma que la adición de HA aumenta la consistencia de la masa, puesto que su almidón es conocido por una alta viscosidad (Singh & Punia, 2020); aunado a lo anterior la AEM, de la HA fue la mayor encontrada, lo que significa que las mezclas con esta harina son estables hasta una adición del 20% (Liu *et al.*, 2019; Montero-Quintero *et al.*, 2015; Nieto-Mazzocco *et al.*, 2020).

A partir de lo anterior, se puede establecer que la mezcla en relación 80:20 (HT-HA) con 16.7% de inulina presentó un adecuado %WA para la elaboración de galletas cracker, ya que al ser bajo, favorece que el producto final sea seco y crocante, además la mezcla no reportó debilitamiento mostrando que la inulina mejora la resistencia mediante la asociación de puentes de hidrogeno. La estabilidad de 1.5 minutos indica que esta mezcla tiene un comportamiento similar al del trigo suave, deseable para la elaboración de galletas. En síntesis, la mezcla en relación 80:20 (HT-HA) con 16.7% de inulina correspondiente a M4 en el diseño experimental es favorable para la elaboración de galletas laminadas.

2.2.3.2 Extensografía

En la Tabla 2-6 se muestran los resultados del extensograma, donde para cada muestra se registró la resistencia (R) en unidades farinográficas, extensibilidad (E) en milímetros y el porcentaje de absorción de agua para una masa con adición del 2% de sal. El extensógrafo mide la estabilidad de la masa y la resistencia que opone durante un periodo de reposo, indicando la calidad de esta en cuanto proteína y periodo de fermentación.

Tabla 2-6 Resultados extensografía

Muestra	Resistencia (UF)	Extensibilidad (mm)	Absorción (%)	E/R
H. Trigo	456	122	54.6	2.67
H. Amaranto	0	0	0	0
M1	501	139	54.5	2.78
M2	582	146	53.9	2.5
M3	448	104	54.3	2.31
M4	637	134	54.3	2.1

La resistencia (R) reportada corresponde al torque máximo a los 135 minutos de la medición, la HA no presentó características viscoelásticas de extensibilidad o resistencia, dado que las proteínas predominantes son de tipo globulinas y albuminas las cuales no presentan estas cualidades; sin embargo, la mezcla entre HT-HA e inulina, aumentó la resistencia de la HT; esta reportó 456 UF y aumentó hasta 637 UF en la relación 80:20 (HT-HA), lo anterior se asocia a una fuerte interacción entre la el almidón de la HA y el gluten de la HT, más el aumento de las interacciones de hidrogeno que fortalecen la masa (Liu *et al.*, 2016). Harinas con alta resistencia indican una buena retención de gas durante la fermentación y calidad de la red de gluten, siendo adecuadas para la elaboración de productos con masa madre, o de fermentación larga, siendo indicador de buena calidad del volumen en el producto terminado (Yue *et al.*, 2020).

La extensibilidad (E) corresponde al máximo estiramiento soportado por la masa antes del rompimiento. La mayor E reportada 146mm corresponde a la mezcla 90:10 (HT-HA) con 16.7% de inulina, Liu *et al.* (2016), reportaron que mediante el debilitamiento de los puentes disulfuro del gluten se favorece la estabilidad, la extensibilidad, la energía de deformación y la proporción alveográfica resistencia / extensibilidad (P / L) de la masas, información coincidente con este estudio, puesto que se obtuvo un E menor para la HT 122 mm. Masas extensibles disminuyen la energía a la deformación durante la laminación, también facilitan el paso de la masa entre los rodillos, disminuyendo las perdidas por ruptura (Yue *et al.*, 2020).

El índice E/R representa el ancho de la curva en relación a su altura, permite observar el desempeño de la masa durante el estiramiento. Los índices obtenidos estaban entre 2.1 y 2.78, las masas débiles se caracterizan por resistir menos al amasado y a la fermentación, tienen un bajo porcentaje de proteína y gluten; además presentan un E/R menor a 3 puesto que son más extensibles y menos resistentes (Abbasi *et al.*, 2012). En el estudio de Mlakar, Bavec, Turinek, & Bavec, (2009) encontraron diferencias entre los índices de la HT cuyo valor inicial fue 5.6, el cual disminuyó a 2.7 con la adición de un 30% de HA, información coincidente con este estudio. Siendo así, la harina empleada en este ensayo tiene características de harina suave, puesto que no tiene mejoradores tipo oxidantes y hasta una sustitución del 20% por HA no afecta de manera significativa sus propiedades de extensibilidad y resistencia; en cambio la adición de inulina aumenta la extensibilidad de las masas, debido a que esta disminuye los enlaces disulfuro debilitando

la red de gluten (Liu et al., 2016). Las harinas débiles son usadas en productos horneados con texturas suaves y esponjosas como las galletas, pasteles, tortas, muffins y donas; entre las variedades de galletas se encuentran las *cracker*, en su proceso de elaboración se requieren características que permitan su laminación y fermentación, es decir que estas no requieren de largos tiempos de amasado, un nivel entre 8% a 9% de proteína y resistencia a la fermentación; en el ensayo se observó que el desempeño más cercano a lo requerido para la elaboración de galletas *crackers* lo presentó la mezcla de harinas 80:20 con 16.7% de inulina, denominada M4, ya que esta cuenta con la mayor resistencia 637 UF, adecuada extensibilidad 134 mm e índice E/R de 2.1.

2.2.3.3 *Mixolab*

El mixolab muestra el comportamiento de la masa cuando se somete a un esfuerzo constante y cambios de temperatura, simulando el amasado, calentamiento y enfriamiento. La primera fase sucede a temperatura constante de 30°C, donde se calculan datos similares al farinograma, los cuales son tiempo de desarrollo (TD), tiempo de estabilidad (TE), amplitud y consistencia máxima (C1). En esta etapa se evalúa el comportamiento de las proteínas dado que la temperatura constante no afecta el desarrollo del gluten; entre tanto, los datos obtenidos en Tabla 2-7 confirman que los TD presentaron diferencias entre las muestras, considerando que el porcentaje de agua ya se encuentra fijado por el farinograma; por una parte el control de HT registró 5.23 min, información coincidente para trigos duros y de dureza media (Singh, Gujral, Katyal, & Sharma, 2019), y la HA presentó tiempo inferior a 3 minutos, igual que la M3 la cual contenía una sustitución 80:20 de HA y adición de 8.4% de inulina. Esto se contrasta con que la mezcla en relación 90:10 con 8.4% de inulina (M1), presentó un TD de 5.87 min sin diferencias con la HT, es decir que una sustitución 80:20 HT-HA afecta significativamente el TD. Luo *et al.* (2018) reportaron que una adición superior al 10% disminuía el TD, información coincidente con lo obtenido por farinografía.

En cambio, M2 y M4 aumentaron el TD, esto implica que la sustitución de HT por HA retrasa el tiempo en que el gluten se hidrata, situación similar se reporta para la inulina, puesto que estos dos componentes compiten por hidratarse con el agua disponible y retrasan el tiempo en el que el gluten logra desarrollar su red (Liu *et al.*, 2016b; Luo *et al.*, 2017). Entre tanto se observó que tiempos de desarrollo más altos favorecen la estabilidad

de la masa y tiempos cortos no presentaron una buena estabilidad, los productos como panes y pastas requieren un mayor TD, las galletas al realizarse con harina suave o de fuerza media, no requieren TD muy largos (Jaksics *et al.*, 2020). Es decir que para la elaboración de galletas cracker los TD obtenidos en las mezclas son aptos para su desarrollo; la M4 presentó un TD de 7.68 min y estabilidad de 6.47 min buena para la laminación; dado que es fácil de alargar y no se romperá fácilmente lo que está asociado con un buen moldeo(Luo *et al.*, 2018) .

Tabla 2-7 Resultados Mixolab

Parámetro	MUESTRA					
	H. Trigo	H. Amaranto	M1	M2	M3	M4
FASE I Amasado y estabilidad de la masa						
C1 (Nm)	1.12	1.13	1.08	1.12	1.12	1.09
T° de la masa (C°)	31.1	29.5	31.5	32.1	28.6	31.8
Tiempo Dslllo. (min)	5.23	1.38	5.87	7.20	1.25	7.68
Estabilidad (min)	11.05	2.92	11.2	8.48	10.8	6.47
Amplitud (Nm)	0.11	0.05	0.09	0.09	0.11	0.12
FASE II Debilitamiento de las proteínas						
C2 (Nm)	0.54	0.36	0.49	0.41	0.42	0.33
C1-C2 (Nm)	0.58	0.77	0.59	0.71	0.70	0.76
Tiempo (min)	16.60	18.77	16.95	19.28	17.82	20.00
α (Nm/min)	-0.04	-0.04	-0.02	-0.03	-0.02	-0.05
T° de la masa (C°)	52.1	61.2	53.9	61.4	58.2	64.4
FASE III Gelatinización del almidón						
C3 (Nm)	1.74	0.46	1.73	2.17	1.73	1.58
C3-C2 (Nm)	1.2	0.1	1.24	1.76	1.31	1.25
β (Nm/min)	0.432	0.014	0.398	0.046	0.392	0.104
T° de la masa (C°)	73.5	75.8	77.1	65.8	80.4	85.3
Tiempo (min)	22.27	23.00	23.57	40.75	25.18	32.18
FASE IV Estabilidad del Gel durante la cocción						
C4 (Nm)	1.61	0.42	1.67	2.13	1.52	1.53
C4-C3 (Nm)	-0.13	-0.04	-0.06	-0.04	-0.21	-0.05
γ (Nm/min)	0.014	-0.016	-0.02	-0.004	-0.012	-0.09
T° de la masa (C°)	85.9	84.3	81.3	65.3	59.8	84.6
Tiempo (min)	30.80	30.00	25.88	40.98	32.93	32.92

Parámetro	MUESTRA					
	H. Trigo	H. Amaranto	M1	M2	M3	M4
FASE V Retrogradación del almidón						
C5 (Nm)	2.52	0.72	2.53	2.39	2.26	1.82
C5-C4 (Nm)	0.91	0.3	0.86	0.26	0.74	0.29
T° de la masa (C°)	60.3	58.9	61.1	60.2	59.8	60.6
Tiempo (min)	45.03	45.02	45.03	45.03	45.03	45.02

La consistencia máxima (C1) para las masas de HT y HA no presentaron diferencias en el par con valores de 1.12 Nm y 1.13 Nm respectivamente. Esto se asocia con que el porcentaje de humedad de la HA es bajo y la formación de la masa tiende a ser seca y rígida obteniendo un par alto, en comparación con el par que produce la red de gluten de la HT. Por otra parte, la estabilidad se vio afectada con la adición de inulina al 16.7% puesto que la disminuyó entre 2.5 min hasta 4.5 min, esto se puede asociar con que la inulina debilita los enlaces disulfuro del gluten y la HA disminuye las proteínas disponibles para la formación de gluten (Blanco Canalis et al., 2019; Dubat & Boinot, 2012; Hadnađev, Torbica, & Hadnađev, 2011), además que podría atribuirse a la interacción entre fibras y gluten que previene la agregación e hidratación de las proteínas (Gujral *et al.*, 2020). Para la elaboración de galletas *cracker* se requiere una masa suave y extensible, como se observa en la M4 dado que tenía la mayor extensibilidad encontrada y durante el amasado presentó una menor C1 con relación a la harina de trigo; en caso de presentarse trigos duros se adicionan proteinasas para facilitar la laminación, dado que masas duras se encogerán en la lámina antes del horneado (Davidson, 2019).

La amplitud es el ancho de la curva en C1 indica la calidad de la proteína y la elasticidad de la masa, cuanto mayor sea el torque mayor es la elasticidad. Gujral *et al.*, (2020) en mezclas de HT con glucagel de cebada (aislado de β -glucano, pureza de 94%), presentaron variaciones de amplitud entre 0.05 Nm a 0.08 Nm, el glucagel de cebada forma una red que contribuye a la elasticidad de la masa; esto es coincidente con este estudio, dado que la mayor amplitud registrada fue para M4 que contenía 80:20 (HT-HA) y 16.7% de inulina, la cual favorece la extensibilidad de la masa como se observó en los extensogramas, un proceso de laminación requiere una masa extensible para lograr el calibre deseado para la galleta.

En la fase II del mixolab se evidencia el debilitamiento de las proteínas, reflejado en α como la velocidad del debilitamiento, se calculó la diferencia entre C1 punto máximo de resistencia y C2 punto mínimo que representa la pérdida de fuerza de las proteínas y la influencia de la temperatura en este proceso. C2 muestra el inicio del proceso de gelatinización y el torque mínimo que puede llegar la masa antes del aumento de la viscosidad; es así que el mayor debilitamiento se observó para la HA y la M4, que se asocia con que una sustitución del 20% de HA aumenta el debilitamiento de las proteínas y disminuye la consistencia de la masa. También la inulina debilita los enlaces disulfuro en las proteínas del trigo y por tanto se presentan valores de 0.36 Nm y 0.33 Nm respectivamente; por otra parte, el grado de debilitamiento fue mayor en la HA y las mezclas M2, M3 y M4, esto indica que a pesar que estas mezclas alcanzaron un torque de 1.1 Nm o más el efecto de la adición de HA en una proporción del 20% y la adición de inulina en un 16.7% debilitan significativamente las proteínas en la masa; dado que el C2 para la HT fue de 0.54 Nm, valor coincidente con lo reportado en la literatura (Gujral *et al.*, 2020; Hadnađev *et al.*, 2011). La temperatura de la masa aumento con relación a la masa control; esto se confirma con lo reportado por Hadnađev *et al.*, (2011) para la masa de HA de 60.2°C y las mezclas M2, M3 y M4 con un aumento entre 6°C a 8°C. El debilitamiento de la proteína es importante para el desarrollo de galletas cracker dado que mejoran el proceso de laminado, las formulaciones tradicionales adicionan proteasas para lograr este debilitamiento o utilizan mezclas de harina débil con harina fuerte para lograr el mismo efecto (Manley, 2001). A partir de lo encontrado en el mixolab se presentó un buen debilitamiento de las proteínas en la mezcla M4 0.76 Nm, suficiente para tener una masa laminable.

A los 8 minutos de la prueba inicia el aumento de la temperatura gradualmente (4°C/ min), hasta llegar a 90°C. En este proceso suceden dos fases, la primera consiste en el debilitamiento de las proteínas, que muestra el tiempo que se demoran estas en debilitarse, cuyos valores oscilaron entre 16 min a 20 min, el α reportado mostró que el debilitamiento se llevó a cabo a una mayor velocidad en la M4, la cual presenta una mayor proporción de HA e inulina, siendo deseable durante el laminado. Cuando se tienen masas con un mayor tiempo de amasado y mayor tenacidad se utilizan agentes reductores, los cuales provocan la agregación de átomos de hidrógeno a los sitios reactivos de las moléculas, por ejemplo en el gluten debilitan la estructura al romper los enlaces disulfuro covalentes entre

proteínas, mejorando así la extensibilidad de la masa; algunos de ellos son: L-cisteína, bisulfito de sodio, glutatión, proteinasas, entre otros (Bakerpedia, 2020c).

A la vez, el calentamiento permite el inicio de la gelatinización del almidón, aumentando el torque progresivamente hasta registrar C3 como el par máximo obtenido durante el calentamiento. Este es el resultado del aumento en la consistencia debido a la liberación de los gránulos de almidón, que se rompen rápidamente, absorben agua y se hinchan, lo que conduce a la lixiviación de las moléculas de amilosa, dando como resultado un aumento en la viscosidad y el par motor, los trigos suaves se caracterizan por un comportamiento más viscoso y menos elástico (Magaña-Barajas *et al.*, 2009). En este trabajo, se registró el menor C3 para HA, la cual tiene un bajo contenido de amilosa (Liu *et al.*, 2019) y un alto contenido de fibra. Como reportan Hadnađev *et al.* (2011), existe una competencia por el agua disponible entre la fibra y los gránulos de almidón, encontrando que los pseudocereales presentan un muy bajo C3 (0.28 Nm). Así mismo, la adición de HA no disminuyó significativamente el C3 en las mezclas; esto se asocia a que la adición de inulina, la cual mejora la viscosidad de las masas (Luo *et al.*, 2018). Según Mensink *et al.* (2015) la adición de inulina puede resultar en un proceso de gelificación más rápido y con mayor rigidez debido a un aumento de la reticulación intermolecular; por tanto la velocidad de gelatinización del almidón fue baja para la HA, pero no afectó la sustitución en las M1, M3 y M4. La temperatura de las M3 y M4 fue la mayor dado que el amaranto presenta una mayor temperatura para su gelatinización (Hadnađev *et al.*, 2011). Finalmente la viscosidad está fuertemente influenciada por la presencia de inulina dado que forma complejos entre la inulina y la amilosa/amilopectina lixiviadas durante la gelatinización, además la cantidad de material lixiviado se ve afectado por las fuerzas ejercidas por la inulina en los gránulos de almidón (Rosell, Collar, & Haros, 2007). La formación de geles viscosos, permite el desarrollo de producto con un buen grado de expansión, espesor reducido y suaves después del horneado, la adición de inulina a las masas tiene un efecto positivo en la suavidad y grado de expansión de la galleta (Blanco-Canalis, León, & Ribotta, 2017), por consiguiente la mezcla en relación 80:20 con 16.7% de inulina (M4) tiene mayor potencial para el desarrollo de galletas suaves, crocantes y con un buen grado de expansión.

En la fase IV se reporta la viscosidad en C4, la cual es el resultado de la descomposición física de los gránulos de almidón debido al esfuerzo cortante y la restricción de

temperatura, el C4 más alto reportado fue para M2 indicando una buena estabilidad del gel gracias a la adición de inulina; no se encontraron diferencias entre las M3 y M4 que contenían un 80:20 HT-HA; sin embargo cuando se compara la diferencia entre C3-C4, presentó una mayor diferencia la HA que indica una mayor actividad de α -amilasa, información coincidente con el γ obtenido de una velocidad -0.016 Nm/min (Sharma, Gujral, & Solah, 2017). Para la elaboración de galletas la adición de inulina en las mezclas permite aumentar la estabilidad de las masas, siendo favorable durante el proceso de producción.

Al minuto 30, inicia la disminución de la temperatura a 4 C°/min hasta 50°C , durante el enfriamiento, aumenta la re-asociación de moléculas de almidón, la retrogradación ocasiona que el torque medido sea el mayor registrado y que a mayor valor de consistencia más se retrograda el almidón, midiendo directamente la calidad de la miga y la vida útil de los productos terminados (Dubat & Boinot, 2012). El menor C5 fue el de la HA 0.72 Nm, Hadnađev *et al.* (2011) afirman que la harina de los pseudocereales presentan un aumento más lento de la firmeza del pan durante el almacenamiento, reportando un torque de 0.39 Nm y una diferencia entre C5-C4 bajo 0.11 Nm, información coincidente en este estudio. Sin embargo, las mezclas con inulina, HT y HA, no se vieron afectadas en cuanto a la disminución del torque, únicamente M4 que con una relación 80:20 (HT-HA) y 16.7% de inulina presentó un C5 de 1.82 Nm a 60.6°C , lo anterior se asocia con que la inulina genera geles más suaves y es más resistente a la retrogradación (Codinã *et al.*, 2017; Luo *et al.*, 2018; Madrigal & Sangronis, 2007). Siendo así, las masas que presentan un menor C5 tienen una menor retrogradación y por tanto una mayor vida útil, entonces M4 indica una mezcla viable para el desarrollo de galletas *cracker* con una mayor durabilidad.

2.2.3.4 Índice de caída y almidón dañado

En la Tabla 2-8 se observan los resultados obtenidos para el índice de caída (IC) y porcentaje de almidón dañado de cada una de las mezclas. La importancia de esta medición es que de manera indirecta se conoce la actividad de las amilasas en las masas, esto afecta directamente la calidad de los productos a preparar ya que actividades muy altas resultan en masas poco viscosas, con falta de elasticidad y actividades muy bajas resultan en masas muy rígidas con poca capacidad de expandirse y crecer. Los valores óptimos para el IC oscilan entre 200 s y 350 s, mientras que valores superiores a 400 s dan origen a masas con dificultad para fermentar, panes con miga dura, compacta y con

corteza pálida. Harinas con excesiva actividad amilásica presentan valores menores a 150 s que producen masas blandas, pegajosas y difíciles de trabajar con máquina (Ponce *et al.*, 2016). El IC encontrado para la HT fue alto de 422 s, esto indica una baja actividad amilásica, lo que concuerda con el porcentaje de almidón dañado obtenido 9.15%; de igual importancia un IC alto no permite que el proceso de fermentación se lleve a cabo adecuadamente, dado que los azúcares disponibles no serán lo suficientes para la levadura (Codină *et al.*, 2017; Guan *et al.*, 2020; Kiszonas *et al.*, 2018).

Tabla 2-8 Resultados número de caída y almidón dañado

Muestra	Índice de caída (segundos)	Interpretación	Almidón dañado (%)	Interpretación
H. Trigo	422	Limitada	9.15	Normal
H. Amaranto	62	Excesivo	12.63	Excesiva
M1	402	Inferior	8.05	Bajo
M2	380	Límite bajo	8.54	Bajo
M3	356	Límite bajo	9.27	Normal
M4	318	Normal	9.15	Normal

Por el contrario, la HA presenta una alta actividad amilásica, información coincidente con lo reportado por Mlakar *et al.* (2009) para harina de amaranto (*A. cruentus*) con un IC de 62 ± 0.0 s, esto se debe a que el gránulo de almidón es más pequeño, el tiempo de germinación es mayor y el porcentaje de almidón dañado también es mayor, puesto que la molienda se lleva a cabo hasta una partícula fina (Gamel *et al.*, 2006; Guan *et al.*, 2020), es por esto que las mezclas de HT con HA mejoraron su IC y porcentaje de almidón dañado, dado que el alto IC en la HA favoreció este parámetro (Coțovanu, Batariuc, & Mironeasa, 2020; Rustemova *et al.*, 2020), por ejemplo en M4 se redujo a 318s. A su vez, Magaña-Barajas *et al.* (2009) afirma que valores superiores a 300 s en las harinas sugieren una baja actividad de la α -amilasa, asociado a una baja eficiencia para fermentar, por esto se considera que la mezcla con el mejor ICC para fermentar durante la elaboración de galletas *crackers* es la M4. Adicionalmente la adición de inulina, aumenta la cantidad de fructosa disponible, lo que intensifica la amilólisis del almidón y conduce a la disminución de la viscosidad del gel aumentando también el IC (Codină, Ropciuc, & Dabija, 2019). Dado lo anterior la mezcla que presentó el mejor desempeño durante la fermentación es la M4 con una relación 80:20 (HT-HA) y 16.7% de inulina.

2.2.3.5 Gluten húmedo y seco

Respecto a los valores de gluten húmedo se afectó la mezcla en relación 90:10 con 16.7% de inulina, puesto que reporta el valor más bajo 27.04%, esto se puede asociar a la cantidad agua que retiene inicialmente durante el amasado la HT y la inulina ocasionando que se pierda una mayor cantidad de gluten durante el lavado; sin embargo, una sustitución mayor 80:20 (HT-HA) y 16.7% inulina no presentó esta disminución en el gluten húmedo. La relación entre gluten húmedo y gluten seco fue 1:3, adecuada para mantener su estructura durante el horneado, así mismo, los valores reportados son superiores a lo encontrado por Kaushik et al. (2013) para trigos de variedades provenientes de la India con niveles entre $28.07\% \pm 0.66\%$ a $31.66\% \pm 0.63\%$; finalmente lo obtenido se encuentra dentro de lo esperado para harinas multipropósito dado que estas tienen entre 28.5 a 34.5% de gluten húmedo y entre 9.5 a 11.5% de gluten seco (Ponce et al., 2016).

Tabla 2-9 Resultados Gluten húmedo y seco

Parámetro	MUESTRA					
	H. Trigo	H. Amaranto SIN GLUTEN	M1	M2	M3	M4
Gluten húmedo (%)	32.8	SIN GLUTEN	30.46	27.04	30.57	30.52
Gluten seco (%)	10.54	SIN GLUTEN	10.36	9.64	10.05	10.21

2.2.4 Conclusiones

- El análisis proximal permitió identificar que la HA presenta un mayor contenido de lípidos, proteína, ceniza y fibra respecto a la HT. Esto conduce a un mejor perfil nutricional de la HA, por tanto, su mezcla en productos de alto consumo mejora el aporte nutricional de los alimentos.
- La fibra dietaria total reportada para HA ($9.53\% \pm 0.05\%$) es más de tres veces la encontrada para la HT ($2.32\% \pm 0.14\%$), permitiendo el desarrollo de productos ricos en fibra, que tengan efectos funcionales en los consumidores.
- El IAA para las harinas de trigo y amaranto no presentó diferencias significativas, el resultado fue similar al obtenido por mixolab para el %WA, por lo anterior se puede concluir que al mezclar las HT y HA no se afectará la humedad final del producto, propiedad deseable para la elaboración de galletas *cracker*; dado que las harinas

empleadas deben tener un bajo %WA para lograr un producto seco después del horneado.

- El SP no presentó diferencias significativas entre la HT y HA, esto se asocia a la relación similar de amilosa/amilopectina en el almidón de las harinas, indicando una mayor proporción de amilopectina. Esta propiedad no tiene influencia en la elaboración de mezclas de harinas y por tanto se podrá desarrollar una masa adecuada para la obtención de una galleta *cracker*.
- La HA presentó la mayor CRA, CRAT y AEM, que se asocia a una mayor proporción de albuminas y globulinas. Al mezclar las harinas de trigo y amaranto se observó que estas propiedades aumentaron a mayor contenido de HA. Esta interacción entre las proteínas de la HA y la HT son favorables para el desarrollo de productos horneados, dado que mejora las propiedades texturales como crocancia y esponjosidad, al retener mejor el agua en las mezclas y estabilizar la emulsión de la masa.
- Los resultados obtenidos por farinografía permiten reconocer que la inulina en porcentajes mayores al 10% disminuye el %WA de la masa. Esto es favorable para el desarrollo de una galleta *cracker* dado que al final del proceso de producción el alimento contiene menos de 3% de humedad. Adicionalmente, se identificó que el porcentaje de gluten húmedo y gluten seco no se afectó con una sustitución del 20% de HA, manteniendo una buena calidad de la red de gluten en las masas.
- La extensografía muestra que la inulina y la HA mejoraron la extensibilidad y resistencia de la masa a un esfuerzo de estiramiento. A partir de esta información se considera que el proceso de laminación con la mezcla M4 es viable, dado que las masas con un mayor contenido de inulina son más extensibles sin romperse y la resistencia que presenta no ocasionará un encogimiento en las láminas antes del horneado.
- La HT empleada en el ensayo presentó un número de caída de 422 s, indicando una baja actividad amilásica que no favorece los procesos de fermentación, sin embargo, al realizar las mezclas con HA e inulina se mejoró esta propiedad, permitiendo llegar a índices de caída cercanos a 300 s, esto se debe a la mayor cantidad de azúcares disponibles en estas matrices alimentarias. La fermentación es importante para la elaboración de galletas *cracker* dado que se realiza por el método esponja-masa, donde la esponja permanece en fermentación controlada mínimo 12 horas.
- Conforme a las propiedades funcionales y reológicas estudiadas en las masas del diseño, las características más favorables para realizar las galletas cracker las

presentó la mezcla M4 dado que el balance nutricional es favorable para obtener un producto fuente de fibra. En adición, las propiedades de %WA, TD, amplitud, extensibilidad, resistencia, gelatinización, retrogradación del almidón y número de caída, permiten el proceso de laminación necesario para su desarrollo.

Capítulo 3. Elaboración de galletas *cracker* a partir de la revisión de propiedades reológicas y funcionales

Los productos horneados son consumidos al menos una vez al día por la población general, entre ellos se encuentran las galletas *cracker*, las cuales son generalmente saladas, delgadas y crujientes; se estimó que el mercado global de estas galletas alcanzará los USD \$ 30.4 mil millones en 2021 (Xu, Zhang, Wang, & Li, 2020). Reconociendo esta proyección económica, es un mercado grande en el que incluir productos con características nutricionales diferenciales, sería una gran opción para impactar también la salud de los consumidores; por este motivo, se desarrolló una galleta tipo *cracker*, con inulina, una fibra prebiótica con efectos en salud reconocidos como control de la glucosa en sangre, control del colesterol sérico y un impacto positivo en la microbiota intestinal (Clemens, 2015; Shoaib *et al.*, 2016; Sungsoo & Dreher, 2001); también se adicionó HA, un pseudocereal que mejora el perfil nutricional de los alimentos al ser combinado con HT, gracias a su perfil de aminoácidos, ácidos grasos y fibra dietaria (D'Amico & Schoenlechner, 2017; Martinez-Lopez *et al.*, 2020; Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

3.1 Metodología

3.1.1 Muestras

Las harinas empleadas fueron las mencionadas en el numeral 2.1.1, para la elaboración de la esponja se utilizaron las harinas en proporción 80:20 (HT-HA), se adicionó agua potable y levadura activa seca marca Levapan®, seguido de la fermentación se elaboró la masa con inulina descrita en el numeral 2.1.1, margarina La Fina®, sal de mesa Refisal®, polvo para hornear Levapan®, los ingredientes de la masa fueron adquiridos en un mercado local de la ciudad de Bogotá y almacenados en bolsas resellables, a temperatura ambiente, en la Planta de Vegetales del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia.

3.1.2 Formulación propuesta

Se realizaron dos formulaciones un control con HT y la mezcla M4, que tenía una proporción 80:20 (HT-HA) y se calculó que para una porción de 30 g una adición de 16.7% de inulina alcanzaría un 10% del valor diario recomendado de fibra, es decir 2.5 g/porción como lo estipula la resolución 333 de 2011 sobre rotulado nutricional, en la Tabla 3-1 se presentan las formulaciones planteadas para elaborar 500g de galletas *cracker*, suficientes para la prueba sensorial, el análisis físico, y prueba de dureza – fracturabilidad; se hizo un único ensayo de acuerdo con presupuesto del proyecto .

Tabla 3-1. Formulación desarrollada de acuerdo a diseño experimental

Ingredientes	CONTROL		MEZCLA 4	
	Esponja(g)	Masa(g)	Esponja(g)	Masa(g)
Harina de Trigo	325	175	260	140
Harina de Amaranto	--	--	65	35
Inulina	--	--	--	83.5
Agua	200	20	200	20
Levadura	13	--	13	--
Margarina	--	55	--	55
Sal	--	9	--	9
Polvo para hornear	--	20	--	20

Adaptado de: Delcour & Hosney (2010)

3.1.3 Proceso de elaboración de las galletas

Las formulaciones desarrolladas para galletas *cracker* se encuentran en la Tabla 3-1, se realizaron teniendo en cuenta la formulación propuesta por Delcour & Hosney (2010) con una sustitución 80:20 HT-HA para ambas etapas esponja -masa y la adición de inulina en 16.7% con relación a la harina.

Para la masa se mezcló el 65% de las harinas a emplear, agua y levadura en una batidora Hobart N-50 (Hobart Manufacturing Company Ltd., London, UK) durante 15 minutos a 124 rpm hasta obtener una masa suave, homogénea y brillante que no se adhiriera a las paredes de la batidora; la masa se ubicó en recipientes plásticos para introducirla en la cámara de fermentación Thermo Scientific a humedad relativa 80% y 30°C, durante 16 horas. Se tomó el pH después de la fermentación hasta alcanzar un valor entre 5.0 y 5.5. Seguido de esto, se mezcló la masa con el 35% restante de la harina, agua, inulina, margarina, sal y polvo

para hornear en la batidora hasta obtener una masa suave y homogénea. Se tomó nuevamente el pH obteniendo un valor entre 7.0 y 7.4, para luego dejar en reposo por 10 min, y posteriormente hacer pasar la masa por una laminadora manual de acero inoxidable (50 cm de ancho). El proceso se repitió varias veces hasta lograr el calibre deseado de 5 mm, seguido se cortó la masa y se horneó por 5 minutos a 200°C en horno de convección forzado (JAVAR, Bogotá, Colombia). Al salir la lámina del horno se separaron las piezas de galletas, se dejó enfriar 30 minutos, se removió de la bandeja y se almacenó en bolsas de polipropileno durante 24 horas, tiempo estimado para llegar a la estabilidad de la humedad, para evitar desvíos en la textura (Batista *et al.*, 2019; Sedej *et al.*, 2011). Finalmente se realizaron pruebas fisicoquímicas y análisis sensorial como se observa en la Figura 3- 1(Davidson, 2019; Manley, 2011).

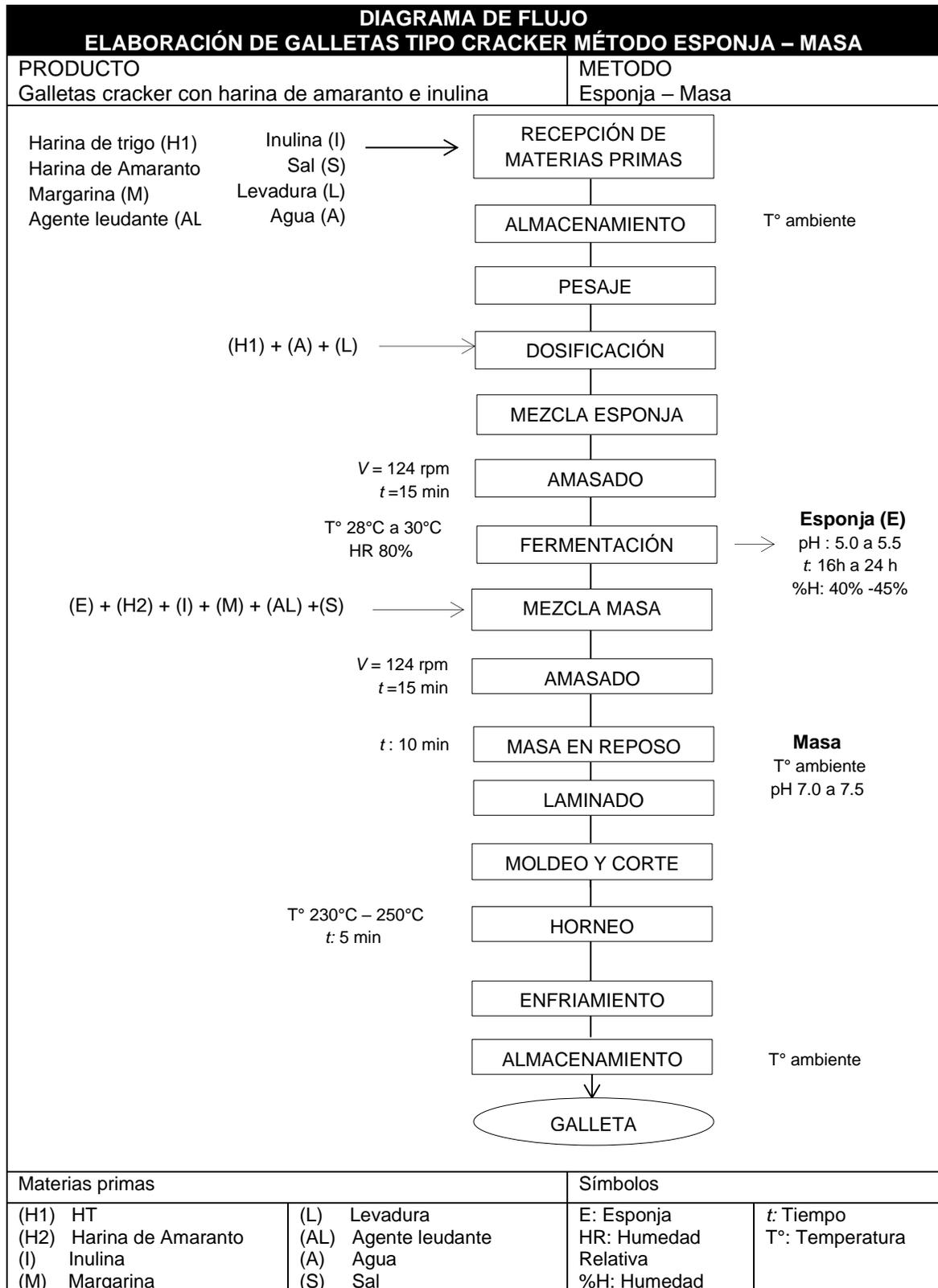


Figura 3-1 Elaboración de galletas tipo cracker método esponja – masa. Adaptado de: (Delcour & Hosenev, 2010).

3.1.4 Aspectos físicos de la galleta terminada

Mediante analizador de humedad EMR-120 -HR (Precisa, Dietikon, Suiza), se midió el porcentaje de humedad por triplicado a las galletas obtenidas, como parámetros físicos de la galleta se tomó el peso final con balanza de precisión EC-Series (Ohaus, Distrito Federal, México) y las dimensiones (longitud, ancho, grosor) con micrómetro digital vernier por triplicado.

3.1.5 Análisis de dureza y fracturabilidad

Para el análisis se empleó el equipo TA.XT Plus (Stable Micro System, Estados Unidos), siguiendo la metodología de Chauhan *et al.* (2016) con algunas modificaciones, se empleó celda de carga de 5 kg, una sonda de flexión en tres puntos indicada para productos de bollería, panadería y galletería. Las muestras tenían dimensiones de aproximadamente 8 cm de longitud, 3 cm de ancho y 3 cm de espesor; la velocidad de corte fijada fue 1 mm/s, una distancia de 20 mm después de hacer contacto con la masa, para determinar la fuerza en ruptura expresada en g y la deformación alcanzada en mm, se realizó por triplicado.

3.1.6 Prueba de consumidores

Se realizó una prueba de consumidores siguiendo la GTC 293 numeral 6.2 pruebas de preferencia con 2 muestras, panelistas aleatorios, sin entrenamiento y consumidores habituales (ICONTEC, 2018) con 60 participantes, las muestras se ubicaron en bandejas blancas y se les asignó una codificación aleatoria, siendo 145 la mezcla 80:20 (HT – HA) con 16.7% inulina y 258 el control de HT. Se aplicó una prueba hedónica de cinco puntos, donde 1 significaba “me disgusta mucho” y 5 “me gusta mucho” el formato aplicado se observa en el anexo C, adicionalmente se indagó por la intención de compra y observaciones o sugerencias a los productos degustados.

3.1.7 Balance de materia y etiquetado nutricional

Se realizó balance de materia del proceso de elaboración de galletas, para el control y la M4, obteniendo las pérdidas por procesamiento y el porcentaje de vapor de agua durante el horneado, a partir de esta información se calculó el aporte nutricional de una porción de producto terminado con un peso estándar de 30 g, para los nutrientes no analizados en

laboratorio se tomaron las siguientes referencias: Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (ICBF, 2015) y el *Sistema Central FoodData* (USDA, 2019).

3.1.8 Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para hallar diferencias significativas en cada uno de los atributos sensoriales evaluados, presentando como resultado la mediana, mínimo y máximo para cada parámetro. Las características físicas y de humedad de la galleta terminada se tomaron a 10 unidades registrando el promedio, desviación estándar y prueba *t-student* para hallar diferencias significativas. Las pruebas en tres puntos de dureza y fracturabilidad se realizaron por triplicado, los datos son el promedio, la desviación estándar y prueba *t-student* para determinar si hay diferencias significativas entre las medias de los grupos.

3.2 Resultados

3.2.1 Galletas elaboradas

Durante el proceso de elaboración de las galletas, el amasado inicial se llevó a cabo durante 15 minutos, en los cuales se adicionó lentamente el agua para evitar que la masa quedara con una humedad mayor al 50%, dado que esto haría una masa muy pegajosa y difícil de trabajar en máquina. Ambas masas, control y M4, respondieron al amasado a velocidad media, en el tiempo estándar, incorporando los ingredientes sin dificultad; además la esponja presentaba un aspecto más seco, cuarteado y amarillento para la M4 como se observa en la Figura 3-2, lo que se debe a la adición de HA, la cual presenta un color amarillo cremoso y la humedad del grano, que es más baja ocasionando masas secas.

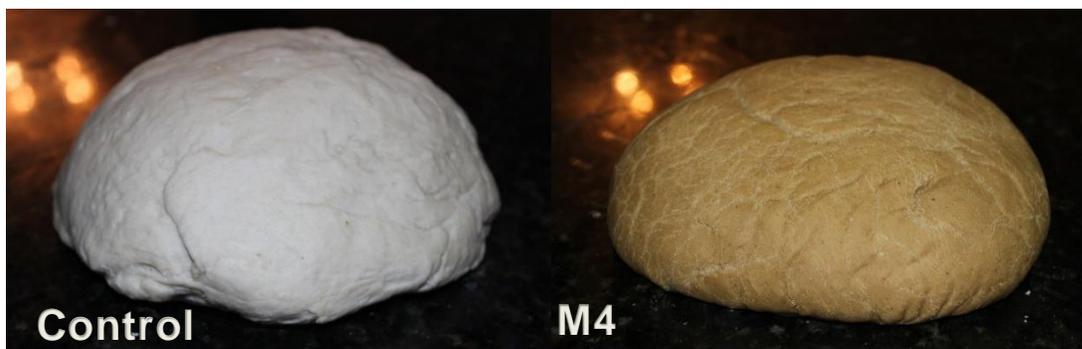


Figura 3-2 Registro fotográfico esponja control y M4

Las esponjas después del proceso de fermentación se encontraban pegajosas y de difícil manipulación. La humedad promedio alcanzada fue de 42.5% y pH entre 5.2 a 5.5. Cuando se inició la mezcla con el 35% de la harina restante, gracias a la humedad existente, se homogenizó la masa. La inulina adicionada se solubilizó en agua para agregarla lentamente a la masa, evitando la formación de cristales, puesto que esta fibra es altamente higroscópica, el amasado se realizó durante 15 minutos estandarizado para ambas masas. Cuando se inició la laminación de las masas, se evidenció que para la M4 la extensibilidad dificultaba la formación de la lámina, puesto que el equipo utilizado es manual y al no tener una bandeja de recibo, la lámina se extendía más de lo calibrado en los rodillos; en la Figura 3-3 se observa la laminación manual. En el estudio Codinã, Ropciuc, & Dabija (2019), el nivel utilizado para la inulina mejor aceptado fue 5.5g / 100g en asociación con iones de calcio y magnesio para conseguir productos de panadería de buena calidad; en este estudio se utilizaron 10.7g/100g de producto terminado, a esto se puede deber la dificultad para su laminación.

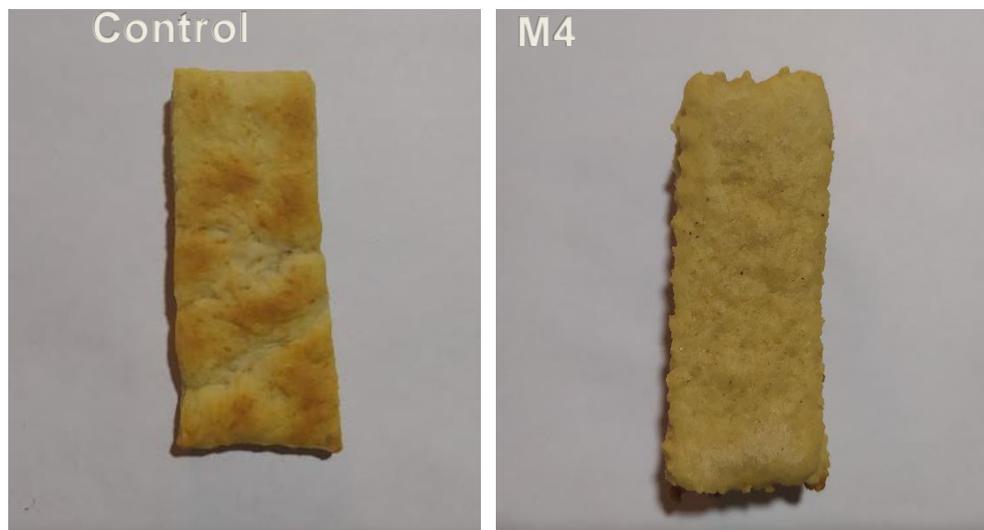


Figura 3-3 Laminación masas

Finalmente, las láminas se dispusieron en bandejas para hacer el corte y agujerado típico de la galleta *cracker*, ninguna de las láminas perdió su forma en este proceso; la galleta M4 se hinchó y tomó una textura esponjosa, con un color más oscuro que el control, esto se debe al color propio de la HA y la adición de inulina que favorece la cantidad de azúcares disponibles que pueden generar reacciones de Maillard en la galleta (Damodarank., 1996) (ver Figura 3-4).



a)



b)

Figura 3-4 Registro fotográfico galletas cracker a) en lamina para corte y b) toma individual.

La presentación final de la galleta M4 fue llamativa por su color, sin embargo, presentó bordes irregulares y al esponjar durante el horneó tomó un aspecto muy grueso, esto se asocia a que durante el laminado el grosor en algunas de las zonas no fue homogéneo,

debido a la alta extensibilidad, la superficie fue característica con pequeñas ampollas de color más oscuro y los hoyos no se marcaron como se esperaba, al partir la galleta M4 se observó su esponjosidad, pero no presentaba la crocancia característica, dado que el porcentaje final de humedad en la galleta fue mayor en comparación con el control, esto se asocia con la mayor CRA de la M4 que ocasionó un producto más húmedo.

3.2.2 Aspectos físicos de las galletas elaboradas

Los aspectos físicos tomados para las galletas control y M4 se encuentran en la Tabla 3-2 y consideran el porcentaje de humedad, el peso final, las dimensiones: grosor-longitud - ancho, además se calculó el índice de propagación, son considerados parámetros de calidad para galletas.

Tabla 3-2 Dimensiones y humedad de las galletas elaboradas

Parámetro	Control	M4	p-valor
Humedad (%)	3.41 ± 0.20	7.36 ± 0.38	< 0.05
Peso final (g)	6.98 ± 0.40	7.17 ± 0.41	0.305
Grosor (cm)	3.37 ± 0.16	3.06 ± 0.24	< 0.05
Longitud (cm)	8.61 ± 0.12	8.46 ± 0.11	0.560
Ancho (cm)	5.23 ± 0.33	3.41 ± 0.12	< 0.05
Índice de propagación (ancho/ grosor)	1.56 ± 0.10	1.12 ± 0.12	< 0.05

El porcentaje de humedad de la galleta M4 es alto, al comparar con el estudio de Nammakuna, Barringer & Ratanatriwong (2016) quienes elaboraron galletas *crackers* con diferentes tipos de fibra en porcentajes 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%, obtuvieron humedades entre 5.0% a 7.16% reportando que a mayor contenido de fibra adicionado aumentaba el porcentaje de humedad y la actividad de agua en las galletas, información coincidente con este estudio, además reportan que a mayor adición de fibra mayor porcentaje de esponjado presentaba la galleta; sin embargo, galletas con porcentajes de humedad altos pierden su característico crocante, puesto que el control tenía un porcentaje de humedad de 3.41%.

Respecto al peso final no se encontraron diferencias significativas, entre el control y la M4, con un peso cercano a lo especificado por Davidson (2019) de 6.25 g; por el contrario, galletas *cracker* desarrolladas con un 40% de harina de leguminosas presentaron un peso inferior entre 4.07 g a 5.26 g (Millar *et al.*, 2017); lo anterior indica que la mezcla con HA

en un 20% más la inulina favorecerían el peso para cada galleta debido a la mayor CRA que presenta la M4, disminuyendo la cantidad de unidades para llegar a una porción estándar.

El grosor de las muestras obtenidas es aproximadamente 6 veces mayor al valor esperado 0.56 cm, lo anterior se asocia con un defecto de calidad, debido a una alta capacidad de esponjar de las masas durante el horneado y al grosor final de la laminación, puesto que se presentaron dificultades durante el proceso de laminación manual. La longitud de la galleta no presentó diferencias significativas entre muestras, acercándose a las especificaciones de 9.1cm. En caso contrario el ancho presentó diferencias entre muestras, obteniendo un mayor ancho para el control, con relación a M4, eso se asocia a un menor índice de propagación durante el horneado y contracción en la masa, la especificación para este parámetro es de 4.4cm (Davidson, 2019) y la muestra control presentó un valor superior 5.23 cm, mientras la M4 tiene un valor menor 3.41 cm.

El índice de propagación es la relación entre el ancho y grosor de la galleta, índices altos muestran una mejor aceptación por los consumidores dado que la galleta es más delgada y crujiente (Chauhan *et al.*, 2016), sin embargo en este estudio se encontraron diferencias significativas entre el control y M4 ambas muestras con índices bajos, dado que el grosor era alto y al partir la galleta se presentaba poca crocancia.

3.2.1 Análisis de dureza y fracturabilidad

La dureza reportada para las galletas control y M4 fue $9441.46 \text{ g} \pm 744.11 \text{ g}$ y $3214.01 \text{ g} \pm 398.40 \text{ g}$, respectivamente, dado lo anterior las galletas M4 presentaron una dureza aproximadamente un tercio menor que el control, esto se asocia con la adición de inulina en 16.7%, puesto que debilita la red de gluten y la relación 80:20 (HT-HA) disminuye el gluten disponible. Blanco Canalis *et al.* (2017) realizaron galletas con dos niveles de adición de inulina 6% y 12% encontrando que la mezcla de harina de trigo suave con inulina disminuye la dureza a la mitad con relación al control. Chauhan *et al.* (2016) reportan que las galletas con adición de HA mayor al 60% disminuyeron su dureza aproximadamente a la mitad, puesto que disminuye el gluten disponible en la masa, finalmente no reportaron diferencias significativas en la cantidad de proteína presente en las galletas, información coincidente con este estudio. Además Kim & Koh (2019), evaluaron la dureza de galletas *crackers* elaboradas 100% con arroz y no encontraron diferencias significativas con el

control de HT, ellos afirman que al permitir la gelatinización de la masa de arroz antes del laminado, mejora la dureza de las galletas. En relación con el análisis sensorial de este estudio, no se encontraron diferencias significativas en la textura de las galletas evaluadas.

La fracturabilidad presentó diferencias significativas entre muestras (p-valor <0.05), con distancias de 39.76 mm \pm 0.21 mm y 41.81 mm \pm 0.82 mm para el control y la M4 respectivamente, la dureza y fracturabilidad se encuentran relacionados dado que la fuerza para romper la galleta depende también de la distancia que deba recorrer el instrumento hasta que se rompe la galleta (Kim et al., 2012). En la optimización de galletas ricas en fibra y proteína, elaboradas con harinas de trigo, sorgo y espirulina se reporta una fracturabilidad entre 0.341 and 0.644 mm, los autores reportan que una mayor aporte de fibra aumenta la fracturabilidad (P. Singh, Singh, Jha, Rasane, & Gautam, 2015) Por otro lado, en el estudio de Qadri *et al.* (2018) elaboraron galletas *cracker* con harina de arroz *brow* y carboximetilcelulosa (CMC), donde reportan una fracturabilidad en el día 0 de 9.53 mm hasta el día 90 de almacenamiento 13.26 mm, valores inferiores a lo obtenido en este trabajo, lo anterior indica que la galleta presentaba un porcentaje de humedad alto que afectaba negativamente la fracturabilidad de las muestras; se podría concluir que la galleta obtenida tenía la textura de una galleta vieja. Por tanto, se requiere un horneado más largo o con mayor temperatura para lograr un mayor secado de la galleta elaborada. Con relación al análisis sensorial, la textura no presentó diferencias significativas con el control, sin embargo, los comentarios recibidos por los consumidores para la galleta M4 fueron que tenía una textura suave.

3.2.2 Prueba sensorial

En la tabla 3-3 se encuentra la mediana obtenida para los atributos sensoriales evaluados mediante prueba hedónica de cinco puntos. No se evidenciaron diferencias significativas en los parámetros olor, textura y apariencia global, el mayor puntaje obtenido para estos atributos fue 4 indicando “me gusta”. Sindhuja *et al.* (2005) desarrollaron galletas con amaranto donde reportan que hasta un 25% de sustitución no presentaba afectación sensorial con relación al control de harina de trigo; información coincidente para algunos de los atributos evaluados, en cambio en este estudio se encontraron diferencias significativas para los atributos color y sabor, para el color se encontró una mayor aceptación por los consumidores dado que el 43% de los encuestados puntuaron este

atributo con 5 “me gusta mucho”, puesto que la harina de amaranto presenta un color más oscuro y al hornear los productos toman un color dorado y marrón asociado a reacciones de Maillard (Chauhan et al., 2016).

Tabla 3-3 Resultados prueba hedonica a consumidores M4 y control

		Mediana	Mínimo	p-valor
Color	M4	4	3	<0.05
	Control	4	2	
Olor	M4	4	1	0.94
	Control	4	2	
Textura	M4	4	1	0.42
	Control	4	2	
Sabor	M4	3	1	<0.05
	Control	4	2	
Ap. Global	M4	4	1	0.69
	Control	4	2	

El valor máximo para las muestras en cada parámetro fue 5 puntos

En la Figura 3-5 se observa un diagrama radial donde se evidencia la afectación en el atributo sabor para la galleta M4, cuya puntuación fue la más baja de acuerdo con las observaciones de los panelistas debido a la presencia de un sabor a fermento, el cual está asociado a un regusto amargo y característico sabor terroso de la harina de amaranto (Chauhan et al., 2016). Como alternativa para mejorar este regusto se sugiere adicionar especias aromáticas, como albahaca, extracto de tomate, incluir leche o adicionar extracto de queso a la formulación M4.

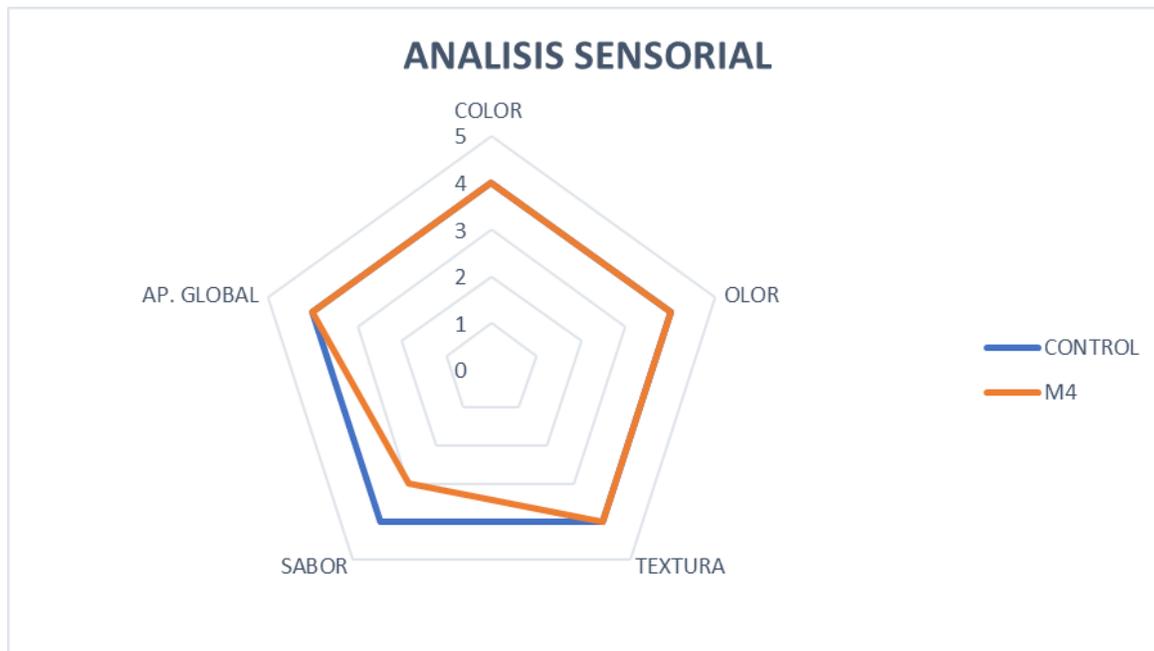


Figura 3-5 Diagrama radial análisis sensorial

Respecto a la intención de compra de la galleta M4, el 60% de los encuestados respondió de manera afirmativa, siendo un porcentaje favorable dado que no es habitual el consumo de productos con amaranto en la alimentación de la población.

3.2.3 Balance de materia y etiquetado nutricional

Mediante el método esponja-masa se elaboraron las galletas *cracker*, el proceso presentó pérdidas de material para el control de 6.98% y 6.72% para la M4; adicionalmente se calculó la pérdida de vapor de agua durante el horneado, reportando entre el 11.84% y 15.95%. En la ecuación 3-1 se encuentra el balance general, mientras que en la Tabla 3-4 se presenta el balance de entradas y salidas de material.

Ecuación 3-1

$$M_t + M_a + M_l + M_w + M_m + M_p + M_i + M_s = M_g + M_r$$

Donde:

M_t = g HT

M_l = g levadura

M_a = g harina de amaranto

M_w = g agua

M_m = g margarina

M_s = g harina de sal

M_p = g polvo para hornear

M_g = g galletas producidas

M_i = g harina de inulina

M_r = g residuo - pérdidas

La tabla nutricional (ver Figura 3-6) se realizó a partir del análisis proximal realizado a las harinas de amaranto, trigo y la ficha técnica de la inulina; para la margarina se empleó el código 391 “Margarina. de aceite vegetal hidrogenado” y levadura código 738 “Levadura prensada” de la Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (ICBF, 2015). La grasa saturada se tomó del *Sistema Central FoodData* (USDA, 2019) para los alimentos harina de trigo código 168944, harina de amaranto código 733870 y para la margarina se tomó el valor reportado por la etiqueta.

Tabla 3-4 Balance general de entradas y salidas

Ingredientes	CONTROL		MEZCLA 4	
	Entrada(g)	Salida(g)	Entrada(g)	Salida(g)
HT	500	-	400	-
Harina de Amaranto	--	-	100	-
Inulina	--	-	83.5	-
Agua	220	-	220	-
Levadura	13	-	13	-
Margarina	55	-	55	-
Sal	9	-	9	-
Polvo para hornear	20	-	20	-
Total ingredientes	817	-	900.5	-
Perdidas antes de horneado	-	57	-	60.5
Peso masa antes de horneado	760	-	840	
Vapor de agua	-	90	-	134
Total Galletas	-	670	-	706
Unidades	90 unidades		95 unidades	

El etiquetado nutricional de la galleta M4, la cual contenía una relación un 20% de harina de amaranto e inulina (16.7%) presenta un menor aporte de calorías que el control de harina de trigo, el contenido de fibra de la galleta fue el 10% del requerimiento como se observa en la Figura 3-6, estas características permiten el uso de la harina de amaranto

como ingrediente saludable y amplia el campo de investigación para el desarrollo de galletas *cracker* con estos ingredientes.

El etiquetado para la galleta control (ver Figura 3-7), muestra un mayor aporte de calorías, igual en proteína y bajo en fibra con relación a la galleta M4, indicando que las mezclas con harina de amaranto mejoran el perfil nutricional puesto son menos densos calóricamente y aportan fibra a la dieta. Adicionalmente la inulina contribuye al aporte de fibra en la alimentación diaria con un efecto prebiótico.

Información Nutricional			
Tamaño por porción	4 galletas (30g)		
Porciones por envase	1		
Cantidad por porción			
Calorías	90	Calorías de grasa	20
Valor Diario *			
Grasa total	2g		3%
	Grasa saturada	1g	5%
	Grasa Trans	0g	0%
Colesterol	0mg		0%
Sodio	150mg		6%
Carbohidrato Total	15g		5%
	Fibra dietaria	4 g	14%
	Azúcares	0g	0%
Proteína	3g		5%
Vitamina A	0%	Vitamina C	0%
Calcio	0%	Hierro	0%
* Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 2000 calorías. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades calóricas.			
	Calorías	2000	2500
Grasa Total	Menos de	65 g	80 g
	Grasa Sat.	Menos de	20 g
	Menos de	300 mg	300 mg
Colesterol	Menos de	2400 mg	2400 mg
Sodio	de	300 g	375 g
Carb. Total		25 g	30 g
Fibra Dietaria			
Calorías por gramo:			
Grasa	9	Carbohidratos	4
		Proteína	4

Figura 3-6 Tabla nutricional galleta M4

Información Nutricional			
Tamaño por porción	4 galletas (30g)		
Porciones por envase	1		
Cantidad por porción			
Calorías	100	Calorías de grasa	20
Valor Diario *			
Grasa total	2g		3%
	Grasa saturada	1g	5%
	Grasa Trans	0g	0%
Colesterol	0mg		0%
Sodio	175mg		7%
Carbohidrato Total	16g		5%
	Fibra dietaria	<1g	1%
	Azúcares	0g	0%
Proteína	3g		5%
Vitamina A	0%	Vitamina C	0%
Calcio	0%	Hierro	0%
* Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 2000 calorías. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades calóricas.			
	Calorías	2000	2500
Grasa Total	Menos de	65 g	80 g
	Grasa Sat.	Menos de	20 g
	Menos de	20 g	25 g
Colesterol	Menos de	300 mg	300 mg
Sodio	Menos de	2400 mg	2400 mg
Carb. Total		300 g	375 g
Fibra Dietaria		25 g	30 g
Calorías por gramo:			
Grasa	9	Carbohidratos	4
		Proteína	4

Figura 3-7 Tabla nutricional galleta control

3.2.4 Conclusiones

- La humedad final de las galletas control y M4 fue 3.41% ± 0.20% y 7.36 % ± 0.38% respectivamente, superior a lo esperado para una galleta *cracker* 3% o menos, lo que afectó los parámetros de grosor, dureza y fracturabilidad, esto se asocia a una mayor CRA e IAA por parte de la HA; dado lo anterior la dureza y

fracturabilidad se vieron afectadas, puesto que el 46% de población evaluada puntuó con tres o menos la variable textura.

- La dureza de la galleta M4 fue baja dado que la humedad final era alta con relación a la literatura, siendo así el proceso de horneado para las galletas debe ser durante más tiempo y se debe disminuir el grosor de las láminas horneadas, para obtener la crocancia característica.
- El regusto amargo que presentó la galleta M4 afectó el atributo sabor para los consumidores, este se debe enmascarar para lograr una mayor aceptabilidad de los productos con harina de amaranto.
- La galleta desarrollada con harina de amaranto e inulina presenta un perfil nutricional con un mayor aporte de fibra y menos calorías que el control. El aporte por porción de fibra es 2.5 g siendo el 10% del valor diario recomendado (25 g/día) para este nutriente, por tanto, esta galleta se puede declarar como buena fuente de fibra.

Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

A partir del análisis proximal realizado a las harinas, se evidenció que la harina de amaranto presentaba tres veces más ceniza y fibra, dos veces más lípidos y mayor aporte de proteína que la harina de trigo; indicando la viabilidad de la suplementación de productos a base de harina de trigo con harina de amaranto para mejorar el perfil nutricional de los mismos.

Las propiedades funcionales de las mezclas evaluadas permiten identificar que la adición de harina de amaranto y la inulina es directamente proporcional al ISA, CRA y CRAT; sin embargo, IAA y PH disminuyeron a medida que se adicionaba una mayor cantidad de inulina, evidenciando que esta restringe la capacidad del almidón para embeber agua e hincharse.

Mediante el análisis reológico se evidenció el efecto de la adición de inulina sobre las mezclas HT-HA, puesto que a mayor adición de inulina menor era el porcentaje de absorción de agua por farinografía y mixolab; por otra parte, a mayor contenido de inulina se observó un aumento en la resistencia y extensibilidad en las masas por extensografía. Aunado a lo anterior, la harina de amaranto e inulina disminuyeron la retrogradación de las masas en el mixolab. Finalmente, la adición de harina de amaranto no afectó el comportamiento del gluten húmedo y seco; en cambio se observó como la adición de esta harina mejoró el número de caída de manera proporcional en las mezclas.

Los resultados del análisis sensorial mostraron que las características apariencia general, textura y olor en la mezcla 80:20 HT-HA tuvieron una buena aceptación por parte de los panelistas; así mismo se presentó una intención de compra de 60% para las galletas. Por otra parte, el color mostró diferencias significativas para la galleta M4 en relación al control, indicando que la adición de harina de amaranto e inulina mejoraron dicha característica, dado que tuvieron una calificación más alta por parte de los panelistas.

Conforme con el objetivo de este trabajo de grado, y los resultados obtenidos de los análisis, proximales, funcionales y reológicos de las harinas, se evidenció que la mezcla de harina de trigo, harina de amaranto e inulina, es una buena alternativa para suplementar los productos a base de harina de trigo, ya que aumenta el porcentaje de proteína, lípidos, fibra y ceniza; entre tanto el nivel de sustitución desarrollado para la galleta cracker (80:20 HT-HA/16.7%) presenta retos tecnológicos en cuanto a su laminación, corte y horneado que requieren evaluar otros porcentajes de sustitución para mejorar las características físicas de las galletas cracker.

4.2 Recomendaciones

Hacer mezclas de HT y HA para evaluar la aplicabilidad de su uso en diferentes matrices alimentarias como: tortas, extruidos, pastas, masas congeladas y galletas batidas, con el fin de identificar otras aplicaciones alimentarias y así ampliar el campo de uso de la HA.

Implementar en la elaboración de galletas *cracker* con HA, enmascadores del sabor amargo, para mejorar la aceptación sensorial, como: taumatina, estevia, leche, combinación con cítricos, entre otros.

Realizar mezclas de harinas de amaranto y trigo con diferentes fibras como salvado, cebada, avena, manzana, goma guar, goma xantán, polidextrosa, entre otras, para evaluar la reología de cada una de las fibras con la mezcla de harinas y así poder conocer otras aplicaciones alimentarias.

Ampliar la oferta de productos con HA, mediante la inclusión en matrices alimentarias como lácteos, embutidos, helados y otros, para aumentar el mercado de alimentos que

contengan este insumo e impactar en el consumo de pseudocereales, incrementando la demanda y así impactando positivamente en su cultivo.

A. Anexo: Fichas técnicas materias primas

CERTIFICADO DE CALIDAD

Consecutivo D-4497



harinera del valle s.a.

Fecha: junio 10 de 2019 Código: 1114
 Producto: Harina de Trigo Referencia: HARINA HAZ DE OROS 50Kg Sin Mejorantes
 Cliente: Lote: G147191114
 Fecha Producción: 27 de mayo 2019 Fecha de vencimiento: 23 de noviembre 2019

Análisis	Resultado	Especificaciones		Metodo
		Mínimo	Máximo	
Fisicoquímicos				
Humedad (%)	14.20	13.0	14.5	NTC 529
Proteína (% base seca)*	14.43	12.5	-	ISO 1871
Cenizas (% base seca)	0.68	-	0.85	ISO 2171
Gluten húmedo (%)	36.00	33	-	AACC 3812
Granulometría (% pasa malla 212 µ)	99.89	98.00	-	AOAC 965.22
Microbiológicos*				
Recuento de aerobios mesófilos UFC/g	600	-	200000	NTC - 4519
Recuento de <i>Escherichia coli</i> UFC/g	<10	-	<10	NTC - 4458
Detección de Salmonella / 25 g	AUSENTE	-	AUSENCIA	NTC - 4574
Recuento de mohos y levaduras UFC/g	<100	-	3000	NTC - 5698-2
Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva UFC/g	<100	-	<100	NTC - 4779
Recuento de <i>Bacillus cereus</i> UFC/g	<100	-	500	NTC - 4679
Micotoxinas*				
		Mínimo	Máximo	
Deoxynevalenol (DON) (µ/kg)	NO DETECTABLE	-	1000	NTC 5961 (AOAC 986.17)
Ocratoxina A (µ/kg)	NO DETECTABLE	-	3	NTC 5472 (AOAC 973.37)
Aflatoxina B1 (µ/kg)	NO DETECTABLE	-	2	NTC 1232 (AOAC 994.08)
Suma Aflatoxinas B1,B,G1, G2 (µ/kg)	NO DETECTABLE	-	4	NTC 1232 (AOAC 994.08)
Zearalenona (µ/kg)	NO DETECTABLE	-	75	NTC 4881 (AOAC 985.18)
Metales Pesados*				
		Mínimo	Máximo	
Cadmio (Cd) mg/Kg	<0.06	-	0.2	AOAC 986.15
Plomo (Pb) mg/Kg	<0.1	-	0.2	AOAC 986.15
Farinógrafo				
Absorción (%)	65.70	63	-	GP. GAC - 103
Alveógrafo				
P m/m	112	-	-	GP. GAC - 117
L m/m	113	-	-	GP. GAC - 117
P/L	0.99	-	1.3	GP. GAC - 117
W	203	-	450	GP. GAC - 117
Panificación				
		Mínimo	Máximo	
Absorción (%)	60	58	-	GP. GAC - 107
Volumen (cm ³)	805	-	-	GP. GAC - 107
Micronutrientes*				
		Mínimo	Máximo	
Vitamina B1 (mg/kg)	6	6	-	
Vitamina B2 (mg/kg)	4	4	-	
Niacina (mg/kg)	55	55	-	
Acido Fólico (mg/kg)	1.54	1.54	-	
Hierro (mg/kg)	44	44	-	
Características Organolépticas				
		Mínimo	Máximo	
Color	Cumple	Característico		
olor	Cumple	Característico		
sabor	Cumple	Característico		
Aditivos				
		Mínimo	Máximo	
Acido ascórbico (mg/kg)	N/A	-	300	

m = índice máximo permisible para indicar nivel de buena calidad

M = índice máximo permisible para indicar nivel de calidad aceptable

Los resultados reportados se obtienen de una muestra representativa del producto en referencia

* Analisis tercerizados.

ELABORADO POR
Milton Cesar Daza R.
Auxiliar Gestión de Calidad

APROBADO POR
Julián Andrés Obando G.
Jefe Gestión de Calidad

 FICHA TECNICA	FT 1538 PG 15	
	REVISION: 001	
	FECHA DE ELABORACIÓN: JULIO 2019	
ELABORADO POR Jhonn Amador - Ing de Alimentos U. CABA	SUPERVISADO POR Claudia González - Ing de Alimentos U. Inca	

NOMBRE DEL PRODUCTO: HARINA DE AMARANTO

DESCRIPCIÓN:

PRODUCTO OBTENIDO DE LOS GRANOS DE AMARANTO, DEBIDAMENTE SELECCIONADOS Y LIMPIOS, QUE HAN SIDO SOMETIDOS A UN PROCESO DE TRITURACIÓN Y MOLIENDA.

LIBRE DE INFESTACIÓN POR INSECTOS Y DE CUALQUIER MATERIAL EXTRAÑO



NO CONTIENE ALÉRGENOS PERO ES PROCESADO EN UNA PLANTA DONDE SE COMERCIALIZA NUECES Y SOYA

***CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS**

COLOR: AMARILLO CLARO CREMOSO
OLOR: CARACTERÍSTICO, SIN AROMAS EXTRAÑOS
SABOR: CARACTERÍSTICO, SIN ACIDEZ, NI DULZOR
ASPECTO: POLVO FINO SUAVE

***CARACTERÍSTICAS FISICOQUIMICAS**

HUMEDAD: 13 % Max

***CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

AEROBIOS MESOFILOS: 200.000 - 300.000 UFC/g
MOHOS Y LEVADURAS: 3000-5000 UFC/g
SALMONELLA spp: AUSENCIA EN 25g
BACILLUS CEREUS: <1000 UFC/g

OBSERVACIONES:

PRODUCTO HARINA DE AMARANTO CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES DESCRITAS EN LA RESOLUCIÓN 5109 DE 2005 DE ROTULADO Y ETIQUETADO
NORMA APLICABLE: MEZCLA CRUDA DE CEREALES INVIMA
CERTIFICACIÓN INVIMA: 2012015898

INFORMACIÓN ADICIONAL Y VENTAS :
Prodelagro SAS-
Calle 102 N°70C-83 PBX 6137886 Bogotá D.C.
info@prodelagro.com



FICHA TECNICA

FT 1538 PG 2/2

REVISION: 001

FECHA DE ELABORACIÓN JULIO 2019

ELABORADO POR
Johana Amalés - Ing de Alimentos
U. COLO

SUPERVISADO POR
Claudia González - Ing de Alimentos
U. COLO

NOMBRE DEL PRODUCTO: HARINA DE AMARANTO

FORMA DE CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO

ALMACENAR EN PERFECTA LIMPIEZA, EN LUGAR SECO Y FRESCO CON BUENA VENTILACIÓN, SOBRE PLATAFORMAS ELEVADAS DEL PISO (POR DEBAJO DE 25°C CON HUMEDAD RELATIVA DEL 60%), PROTEGER DE LUZ DIRECTA Y OLORES CONTAMINANTES.
UNA VEZ ABIERTO EL EMPAQUE CONSUMIR O PROCESAR EN EL MENOR TIEMPO POSIBLE PROTEGER DEL INGRESO DE INSECTOS Y ROEDORES.

CONDICIONES DE TRANSPORTE

TRANSPORTE EN VEHÍCULOS LIMPIOS, LIBRES DE HUMEDAD EN SU INTERIOR EL PRODUCTO ES ALMACENADO SOBRE ESTIBAS PARA EVITAR CONTAMINACIÓN Y DETERIORO DEL EMPAQUE Y NO SE TRANSPORTA CON SUSTANCIAS QUÍMICAS O TÓXICAS

VEHÍCULOS CUMPLEN CON LO ESTABLECIDO EN LA RESOLUCIÓN 2674 DE 2013.

VIDA UTIL

6 MESES

SIEMPRE Y CUANDO SE CUMPLA CON LOS REQUISITOS DE CONSERVACIÓN, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE RECOMENDADOS

USOS Y FORMA DE CONSUMO

IDEAL PARA DIVERSOS TIPOS DE PREPARACIONES CULINARIAS COMO: PRODUCTOS DE REPOSTARÍA, BIZCOCHOS, MAGDALENAS, MUFFINS, GALLETAS, TORTAS, IDEAL TAMBIÉN PARA ESPESAR SOPAS, COLADAS, CREMAS Y POSTRES.
INGREDIENTE PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS HORNEADOS O FRITOS.

PRESENTACIONES:

- *BOLSA LAMINADA POLIAMIDA/PEBD CON PROTECCION DE BARRERA x 500g
- *SACO POLIPROPILENO x 25Kilo

LOTEADO (10 DIGITOS)

PRIMEROS DOS DIGITOS: AÑO DE PRODUCCION
SEGUNDOS DOS DIGITOS: MES DE PRODUCCION
TERCEROS DOS DIGITOS: SEMANA DE PRODUCCION
CUATRO ULTIMOS DIGITOS: CODIGO DE CONTENIDO

IDENTIFICACION DE FECHA DE VENCIMIENTO

DIA - MES - AÑO

XX XX XX

INFORMACIÓN ADICIONAL Y VENTAS :
Prodelagro SAS-
Calle 102 N°70C-83 PBX 6137886 Bogotá D.C.
info@prodelagro.com



ORAFTI CHILE SA
 KM.445 RUTA 5 SUR
 PEMUCO
 CHILE

Attention of : QUIMICA AROMATICA ANDINA
 Customer : SAS
 QUIMICA AROMATICA ANDINA
 SAS
 Calle 22 B No. 30-32
 111611 Bogotá D.C.
 Colombia

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of shipping : 11.05.2018
Sold to : 170130 QUIMICA AROMATICA ANDINA SAS
Ship to : 170130 QUIMICA AROMATICA ANDINA SAS
Orafti order nr : 2200564330 / 21264178
Your order nr : IJ096-18
Product : 42002100 ORAFTI HSI BAG 25KG (1T)
Batch nr : RHSNP7CNP7(pal. from: 1 to 78)
Best before date : 16.10.2022
Quantity : 1.000,00 KG Date of production : 16.10.2017.

Analysis		Values	Norms
Specifications: Physico-Chemical param. powdered product	Dry matter (grav.)	96.8 %	95.0 - 99.0
	pH	5.2	5.0 - 7.0
Chrometography powdered product	Conductivity (uS/cm)	10	0 - 250
	Inulin (% DM)	92.0 %	88.0 - 100.0
	Glucose + fructose + sucrose (%DM)	8.0 %	0.0 - 12.0
Microbiology	Total meso bacteria (Ug d.m.)	0	0 - 1000
	Yeasts (Ug d.m.)	0	0 - 20
	Moulds (Ug d.m.)	0	0 - 20

Customer note:

Customer note for material:

Quality Department

CARLA MUÑOZ SEPÚLVEDA
 Servicio de Calidad
 Orafti Chile S.A.

B. Anexo: Análisis externos de las masas (Farinografía - Mixolab - Extensografía)

Farinogramas**MIXOLAB**

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-FARINOGRAFO CONTROL 1

Fecha : 13/08/2019 Hora : 09:32

Muestra :

Hidratación : 63,2 % base 14% (b14)

Contenido de 13,7 %

Indice: **0-43-173**

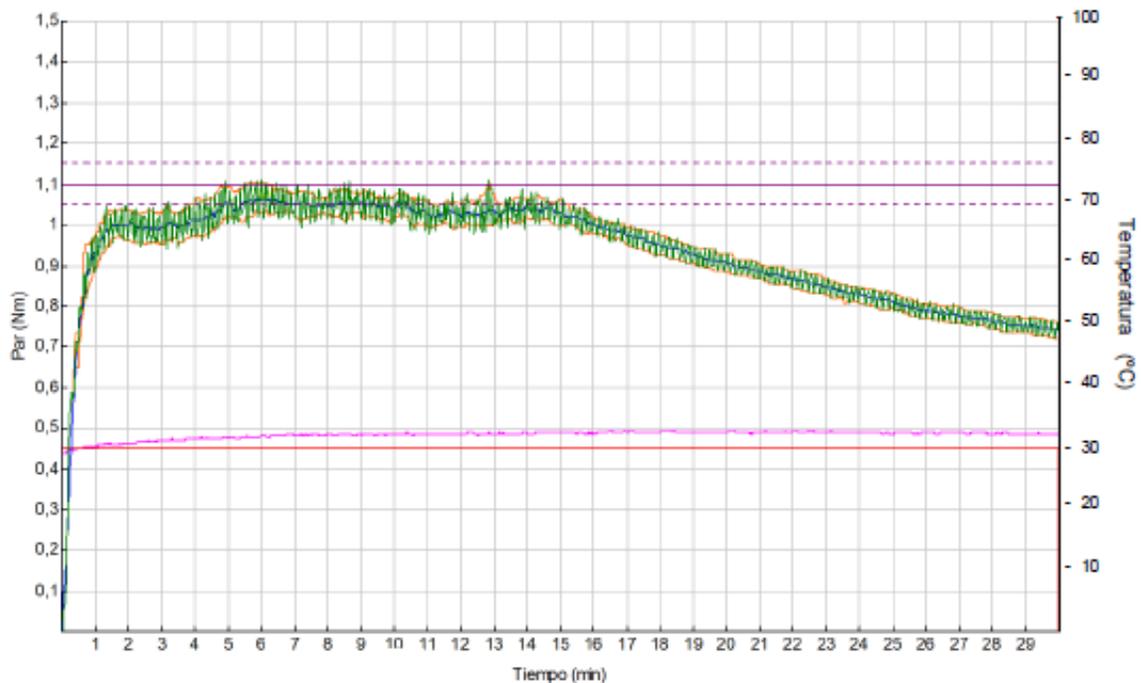
Metódica : Chopin S

Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

Chopin S	
Absorción	63,5 %
Tiempo de desarrollo	2,0 min
Estabilidad	12,5 min
Debilitamiento (Equ. UF)	23 UF
Debilitamiento (Nm)	0,05 Nm
Cmax	1,07 Nm



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-FARINOGRAFO CONTROL 2

Fecha : 20/08/2019 Hora : 15:20

Muestra :

Hidratación : 60,0 % base 14% (b14)

Contenido de 11,7 %

Indice: 0-43-173

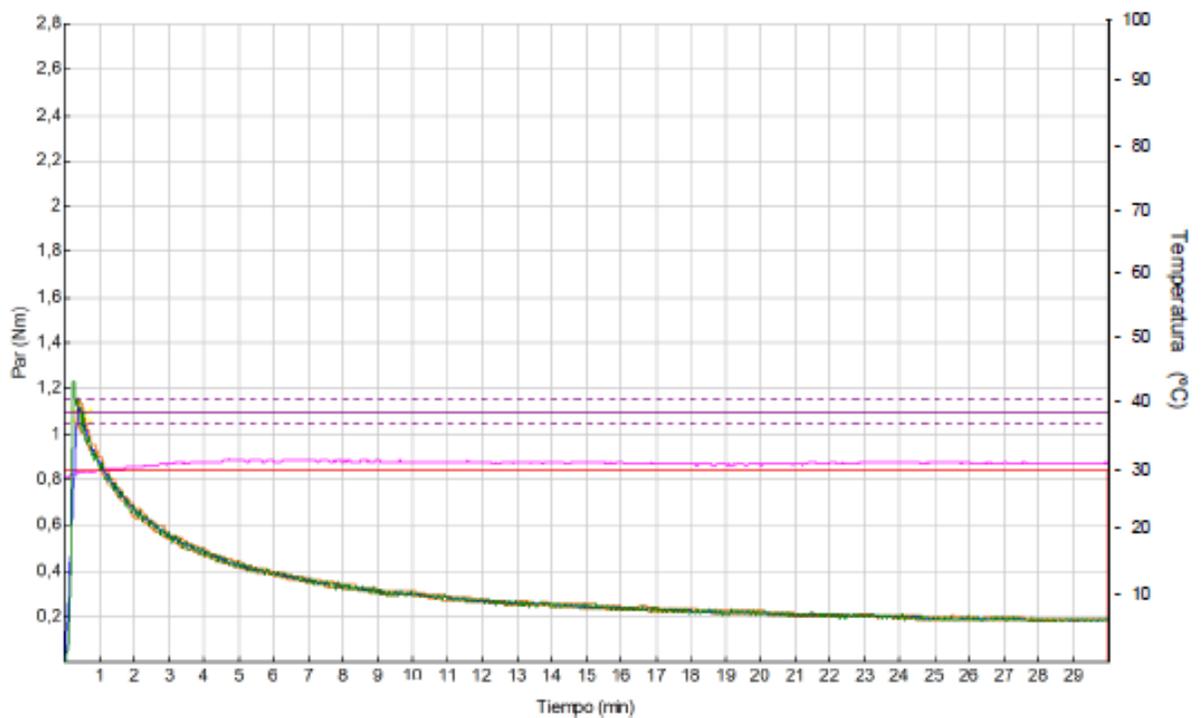
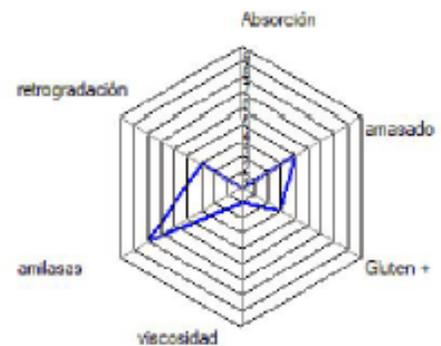
Metódica : Chopin S

Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

	Chopin S
Absorción	58,9 %
Tiempo de desarrollo	2,0 min
Estabilidad	1,5 min
Debilitamiento (Equ. UF)	159 UF
Debilitamiento (Nm)	0,35 Nm
Cmax	1,08 Nm



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-FARINOGRAFO F1 MEZCLA

Fecha : 15/08/2019 Hora : 08:23

Muestra :

Hidratación : 57,9 % base 14% (b14)

Contenido de 13,0 %

Indice: 0-43-173

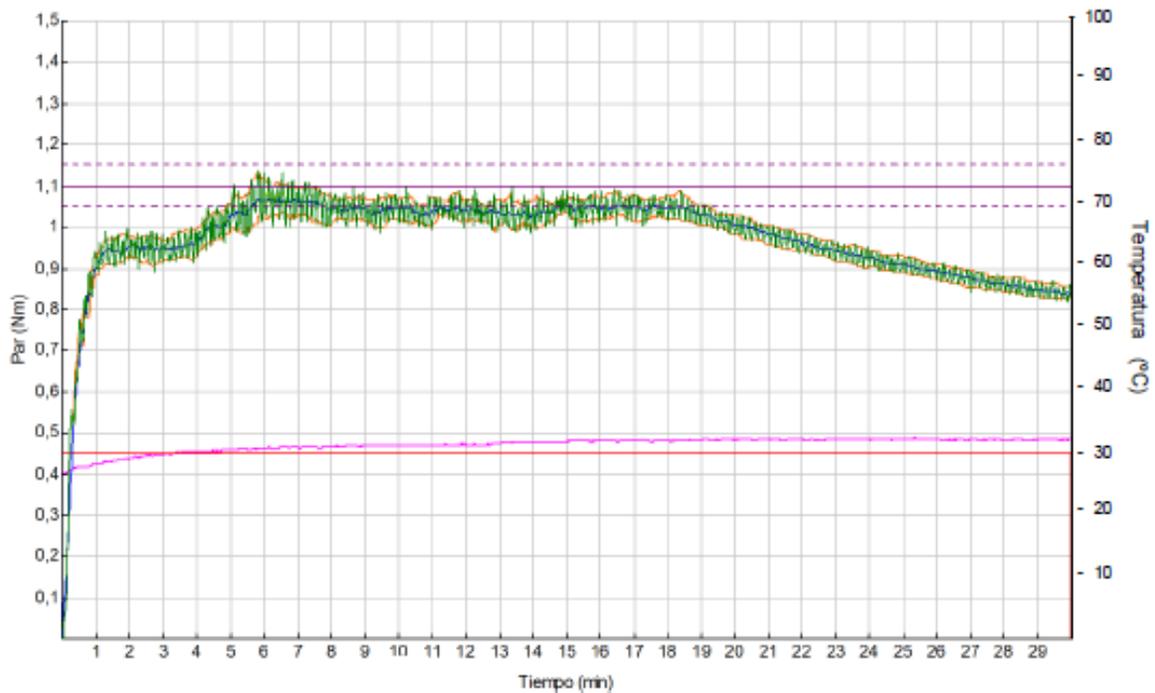
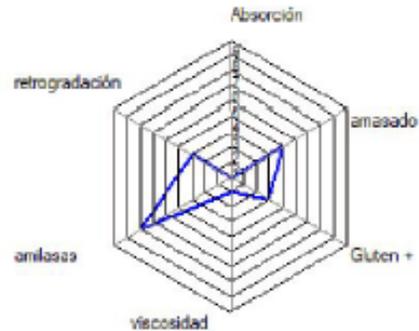
Metódica : Chopin S

Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

	Chopin S
Absorción	58,4 %
Tiempo de desarrollo	2,0 min
Estabilidad	12,0 min
Debilitamiento (Equ. UF)	11 UF
Debilitamiento (Nm)	0,02 Nm
Cmax	1,07 Nm



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-FARINOGRAFO F2 MEZCLA

Fecha : 16/08/2019 Hora : 09:40

Muestra :

Hidratación : 35,0 % base 14% (b14)

Contenido de 12,5 %

Indice: 0-43-173

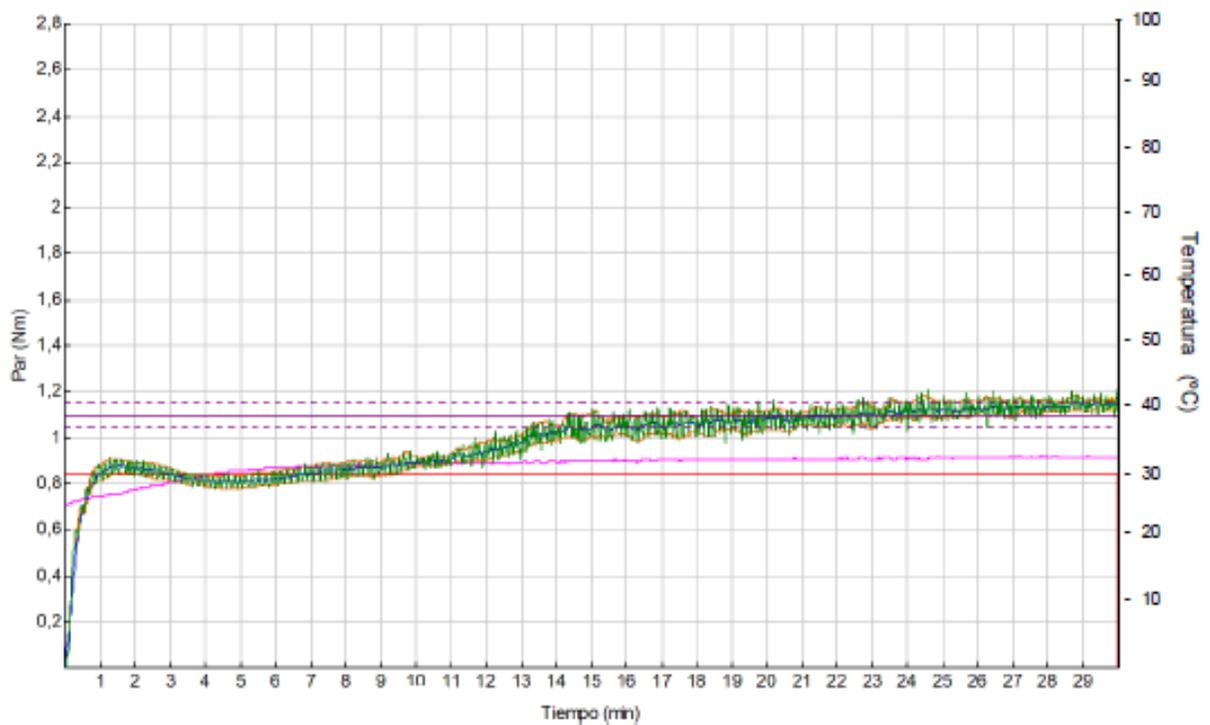
Metódica : Chopin S

Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

	Chopin S
Absorción	36,0 %
Tiempo de desarrollo	2,0 min
Estabilidad	1,5 min
Debilitamiento (Equ. UF)	42 UF
Debilitamiento (Nm)	0,09 Nm
Cmax	1,15 Nm



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
Z.I. DU VAL DE SEINE
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

Harina externa-FARINOGRAFO F3 MEZCLA

Fecha : 16/08/2019 Hora : 14:51

Muestra :

Hidratación : 52,0 % base 14% (b14)

Contenido de 12,4 %

Indice: 0-43-173

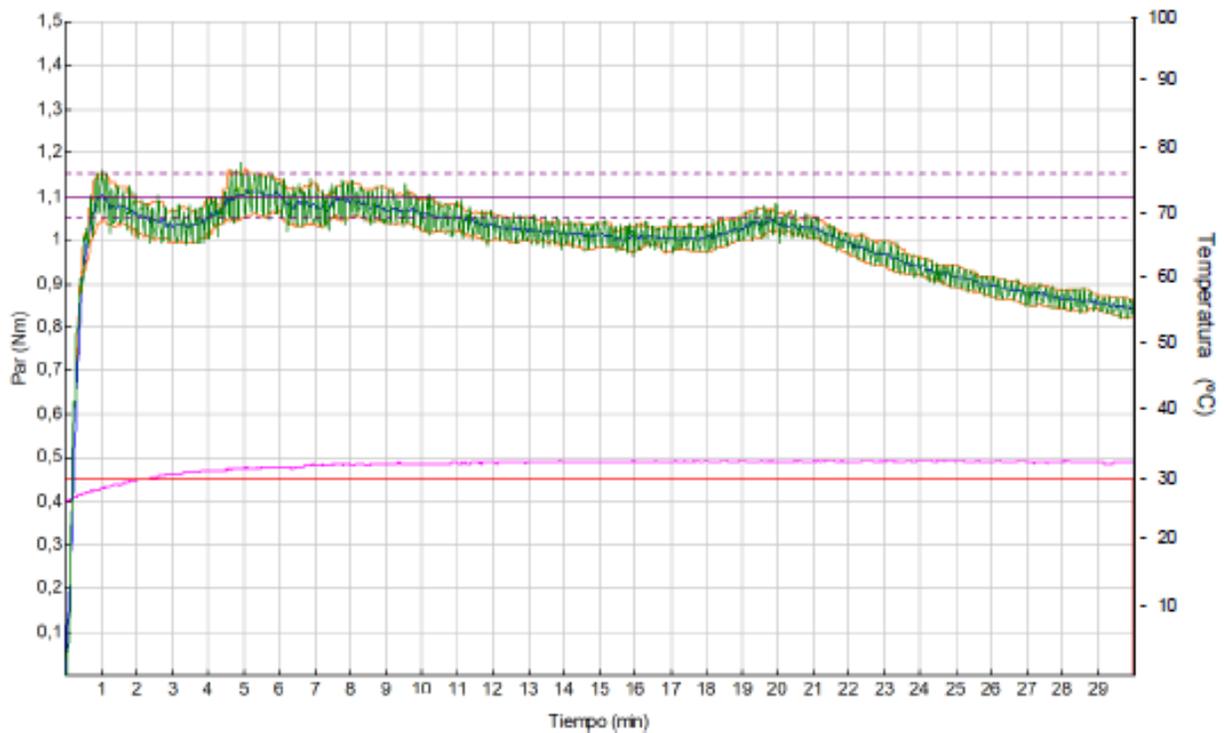
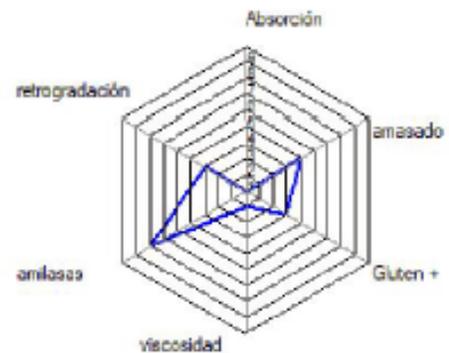
Metódica : Chopin S

Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

	Chopin S
Absorción	53,4 %
Tiempo de desarrollo	2,0 min
Estabilidad	6,0 min
Debilitamiento (Equ. UF)	42 UF
Debilitamiento (Nm)	0,09 Nm
Cmax	1,11 Nm



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-FARINOGRFO F4 MEZCLA

Fecha : 20/08/2019 Hora : 12:33

Muestra :

Hidratación : 41,3 % base 14% (b14)

Contenido de 12,1 %

Indice: 0-43-173

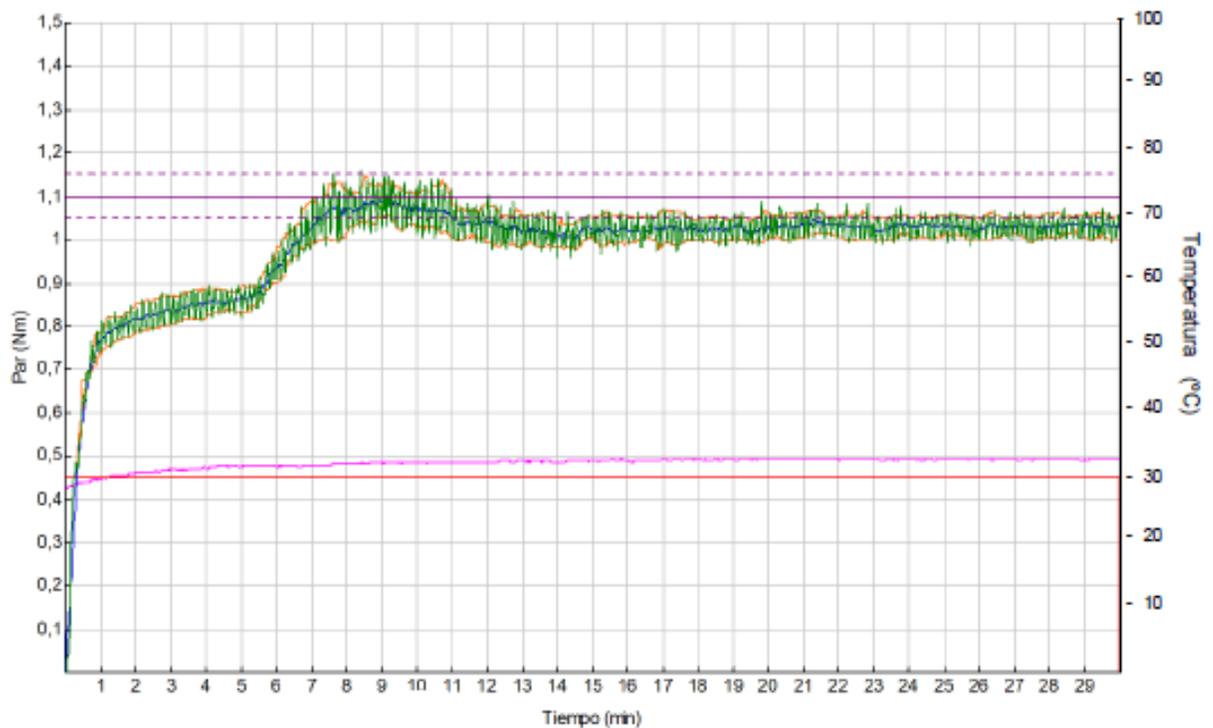
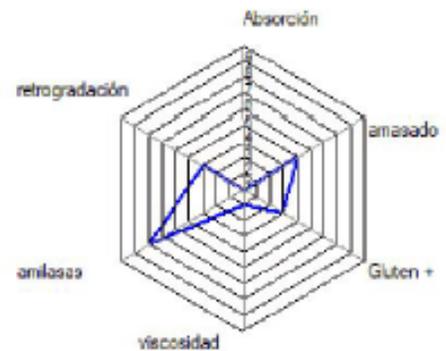
Metódica : Chopin S

Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

Chopin S	
Absorción	42,1 %
Tiempo de desarrollo	2,0 min
Estabilidad	1,5 min
Debilitamiento (Equ. UF)	0 UF
Debilitamiento (Nm)	0,00 Nm
Cmax	1,09 Nm



Mixolab**MIXOLAB**

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-CONTROL 1

Fecha : 13/08/2019 Hora : 08:00

Muestra : 1343

Hidratación : 63,2 % base 14% (b14)

Contenido de 13,7 %

Indice: 8-57-576

Metódica : Chopin+

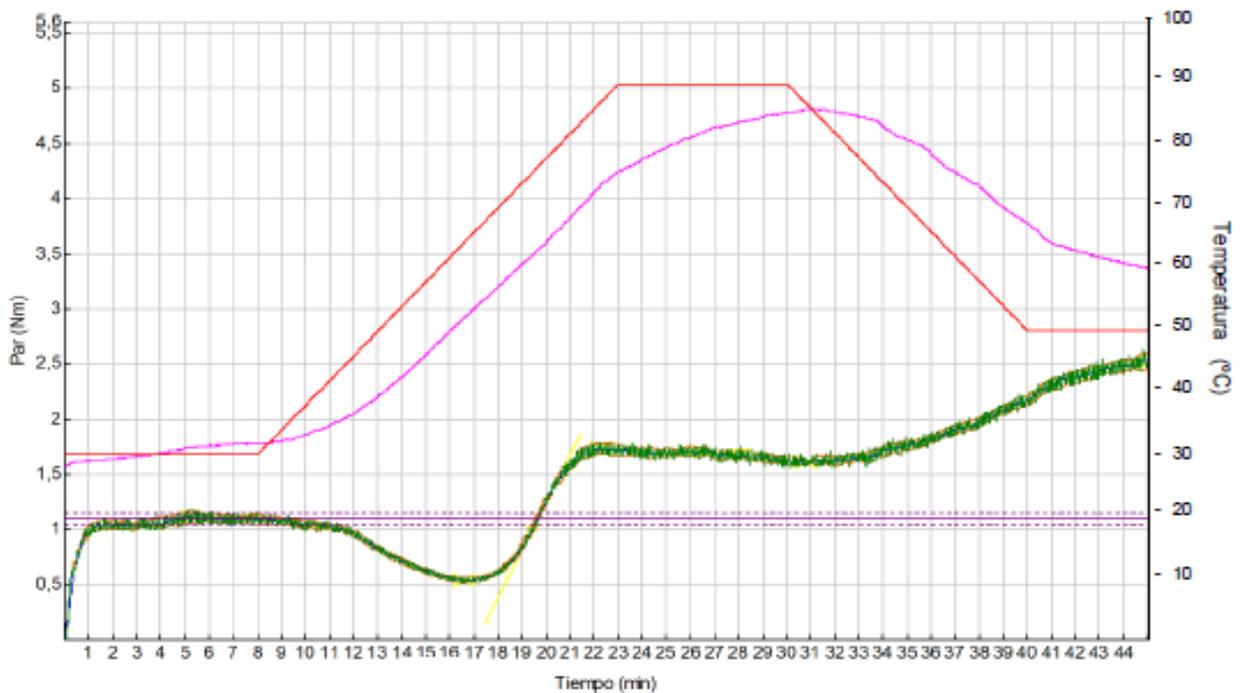
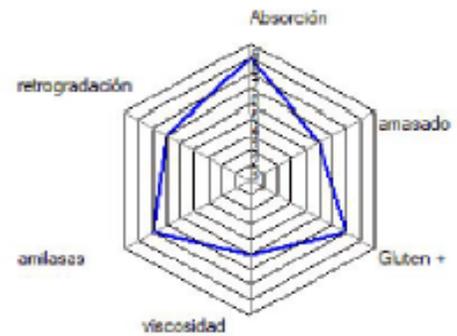
Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

α :	-0,038	Nm/min
β :	0,432	Nm/min
γ :	0,014	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	5,23	1,12	31,1	0,11	11,05
C2	16,60	0,54	52,1		
C3	22,27	1,74	73,5		
C4	30,80	1,81	85,9		
C5	45,03	2,52	60,3		



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-CONTROL 2

Fecha : 14/08/2019 Hora : 09:57

Muestra : 1344

Hidratación : 64,8 % base 14% (b14)

Contenido de 10,7 %

Indice: 8-16-042

Metódica : Chopin+

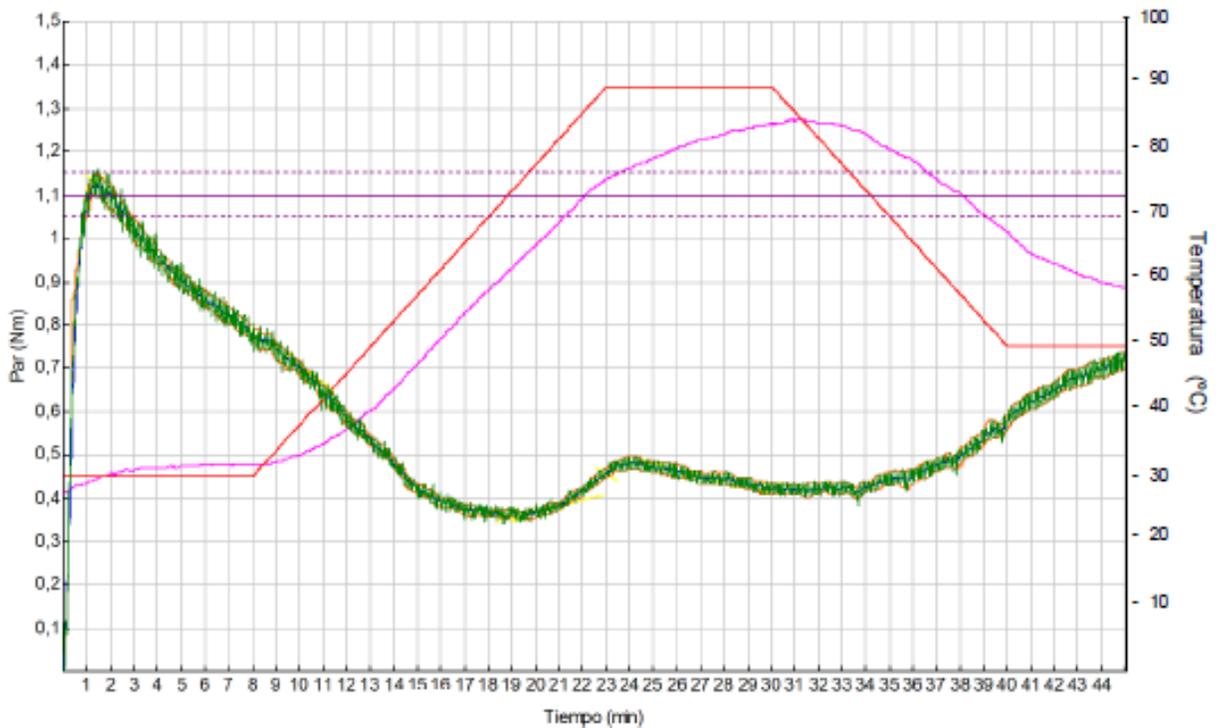
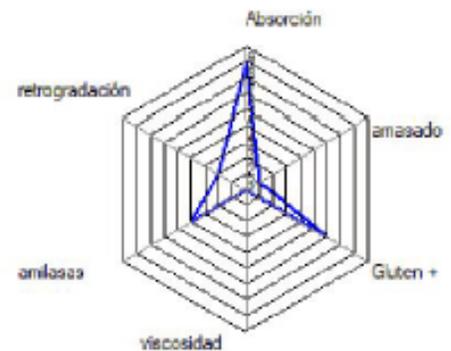
Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

α :	-0,038	Nm/min
β :	0,014	Nm/min
γ :	-0,016	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1,38	1,13	29,5	0,05	2,92
C2	18,77	0,36	61,2		
C3	23,00	0,46	75,8		
C4	30,00	0,42	84,3		
C5	45,02	0,72	58,9		



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-F1 MEZCLA

Fecha : 14/08/2019 Hora : 15:09

Muestra : 1345

Hidratación : 58,9 % base 14% (b14)

Contenido de 13,0 %

Indice: 6-46-575

Metódica : Chopin+

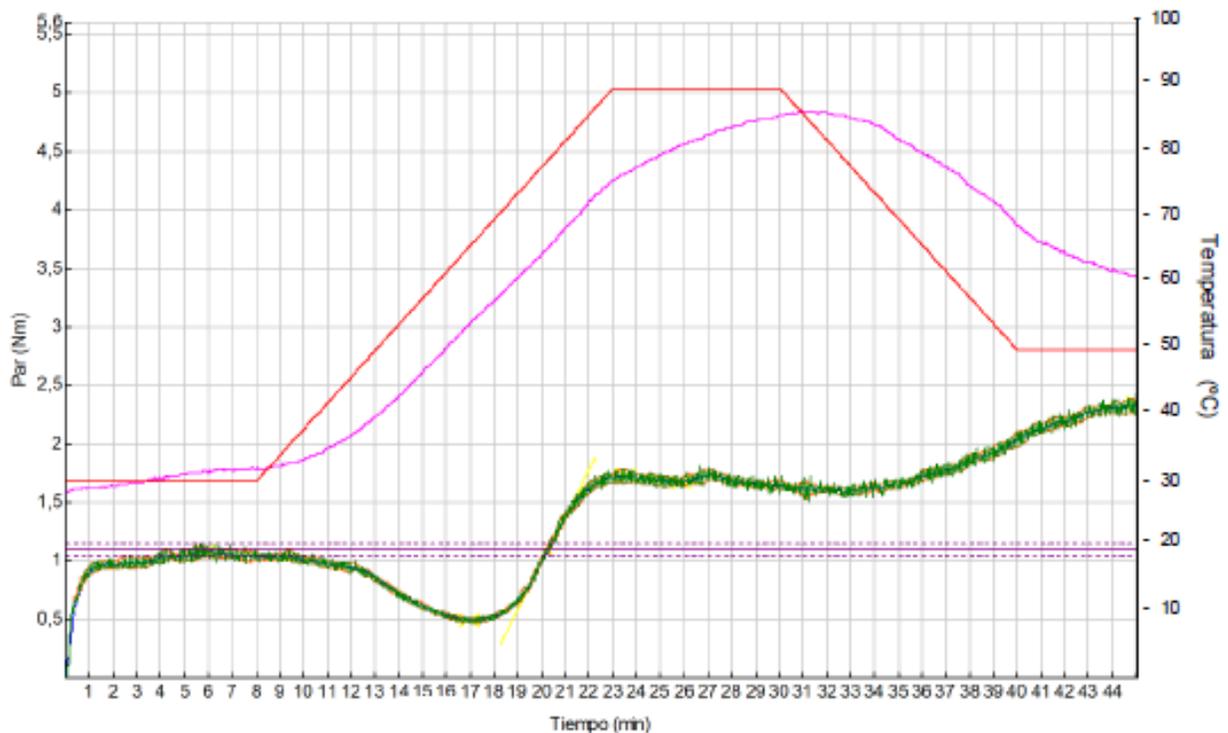
Peso de la 75,0

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado 80 rpm

α :	-0,020	Nm/min
β :	0,398	Nm/min
γ :	-0,020	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	5,87	1,08	31,5	0,09	11,20
C2	16,95	0,49	53,9		
C3	23,57	1,73	77,1		
C4	25,88	1,67	81,3		
C5	45,03	2,35	81,1		



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-F2 MEZCLA

Fecha : 15/08/2019 Hora : 11:54

Muestra : 1346

Hidratación : 46,8 % base 14% (b14)

Contenido de : 12,5 %

Indice: 0-54-585

Metódica : Chopin+

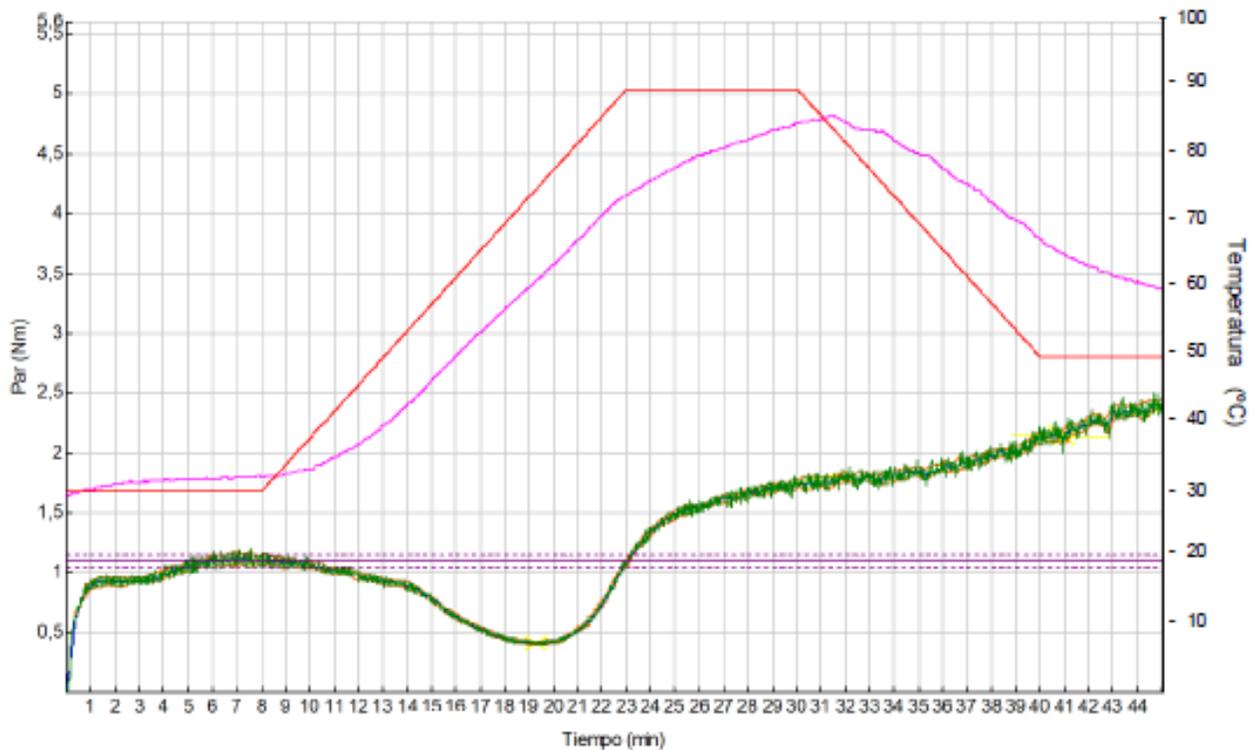
Peso de la : 75,0

Temperatura del : 30,0 °C

Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0,028	Nm/min
β :	0,046	Nm/min
γ :	-0,004	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	7,20	1,12	32,1	0,09	8,48
C2	19,28	0,41	61,4		
C3	40,75	2,17	65,8		
C4	40,98	2,13	65,3		
C5	45,03	2,39	60,2		



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-F3 MEZCLA

Fecha : 16/08/2019 Hora : 11:39

Muestra : 1347

Hidratación : 52,2 % base 14% (b14)

Contenido de : 12,4 %

Indice: 1-62-465

Metódica : Chopin+

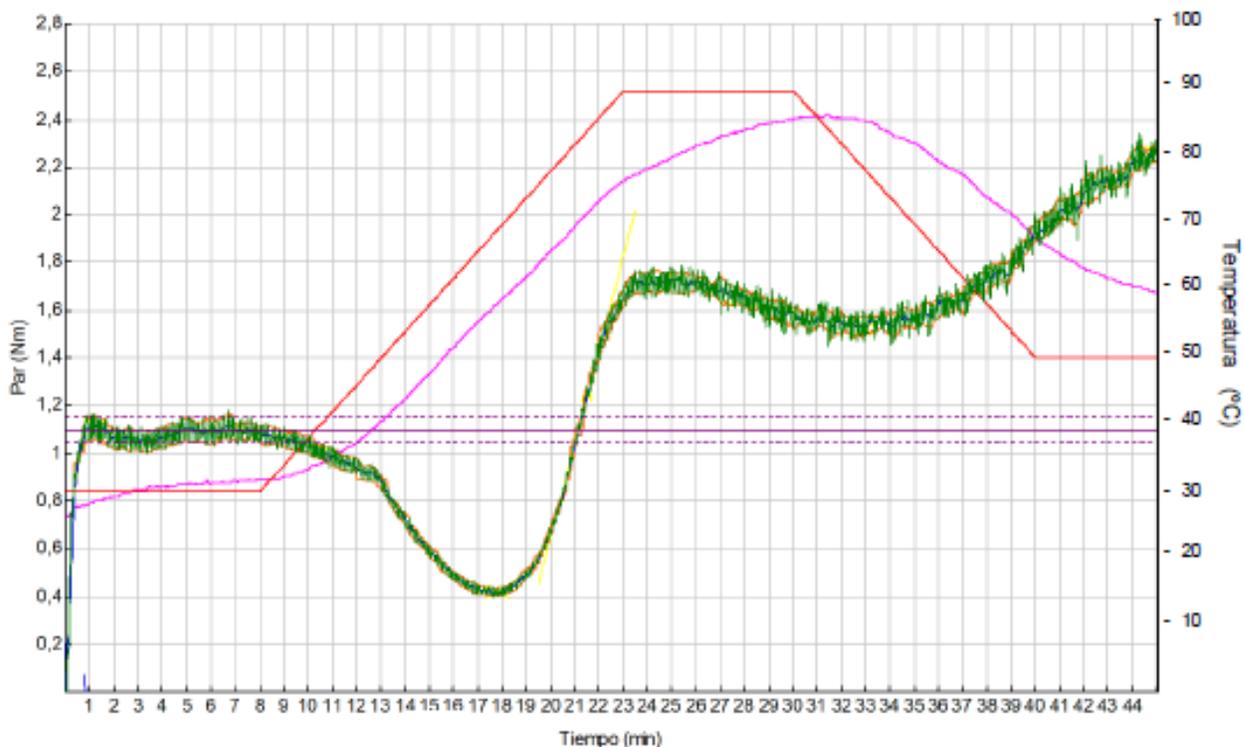
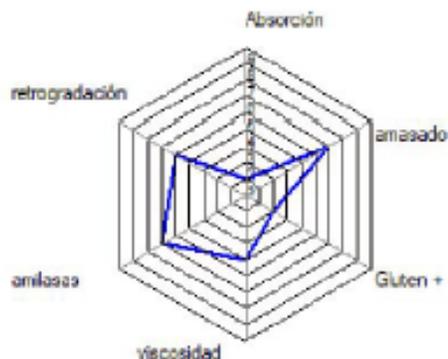
Peso de la : 75,0

Temperatura del : 30,0 °C

Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0,024	Nm/min
β :	0,392	Nm/min
γ :	-0,012	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1,25	1,12	28,6	0,11	10,80
C2	17,82	0,42	58,2		
C3	25,18	1,73	80,4		
C4	32,93	1,52	85,5		
C5	45,03	2,28	59,8		



MIXOLAB

CHOPIN Technologies
 20 AV. MARCELLIN BERTHELOT
 Z.I. DU VAL DE SEINE
 92390 VILLENEUVE LA GARENNE
 FRANCE

Harina externa-F4 MEZCLA

Fecha : 20/08/2019 Hora : 10:05

Muestra : 1348

Hidratación : 43,0 % base 14% (b14)

Contenido de 12,1 %

Indice: 0-43-173

Metódica : Chopin+

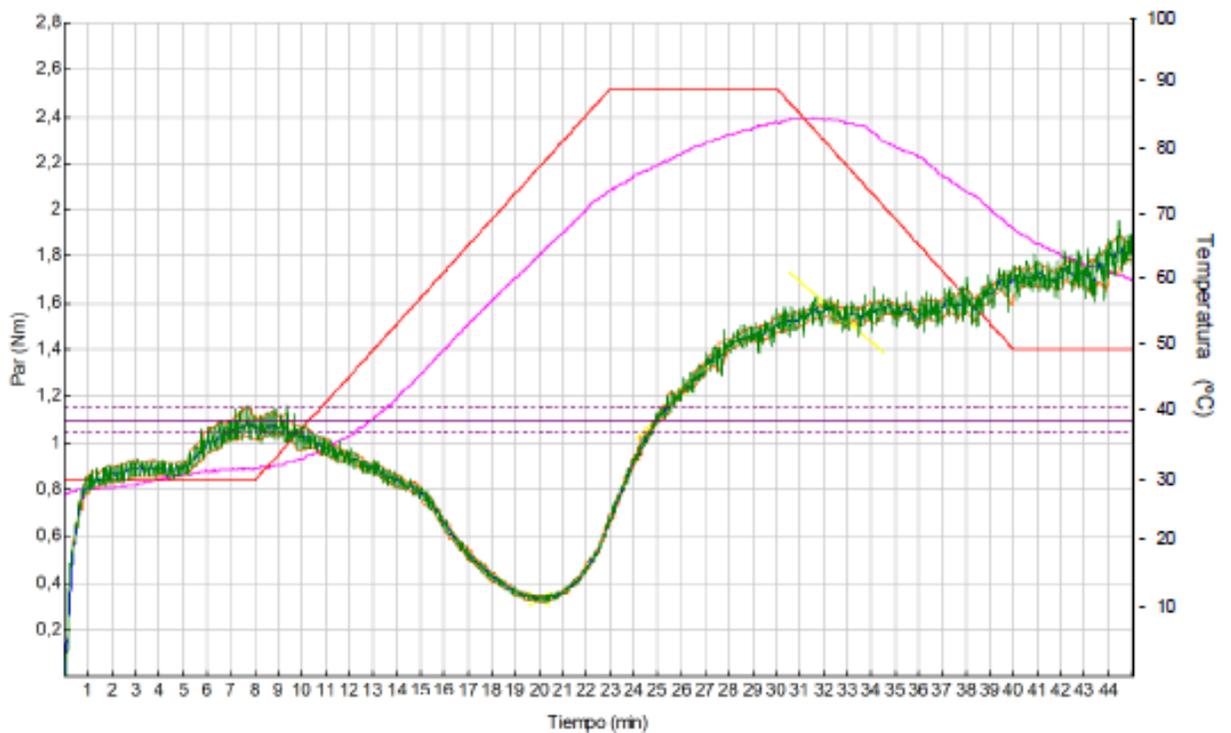
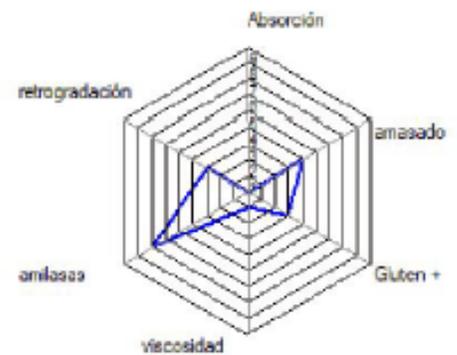
Peso de la 75,0

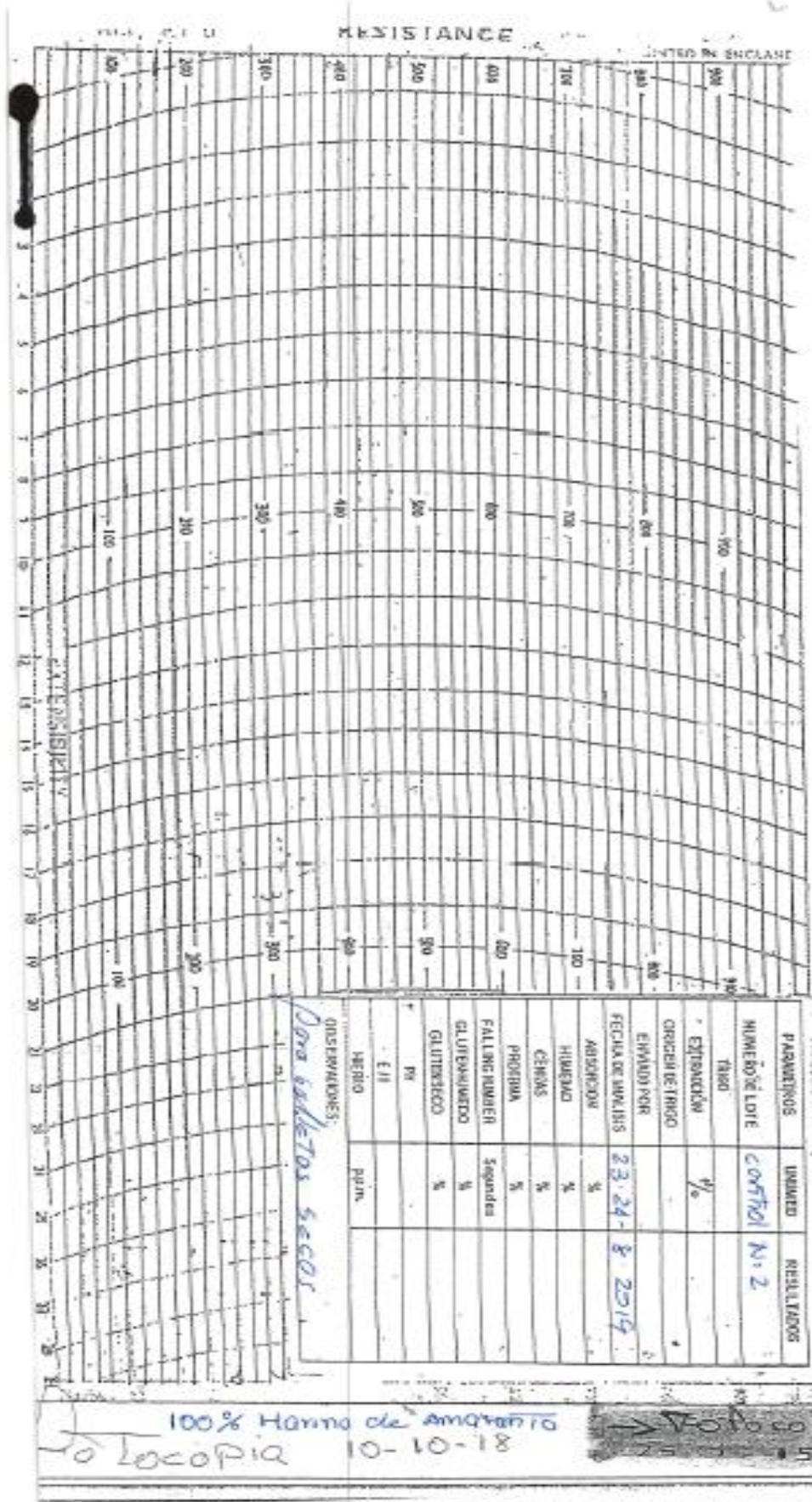
Temperatura del 30,0 °C

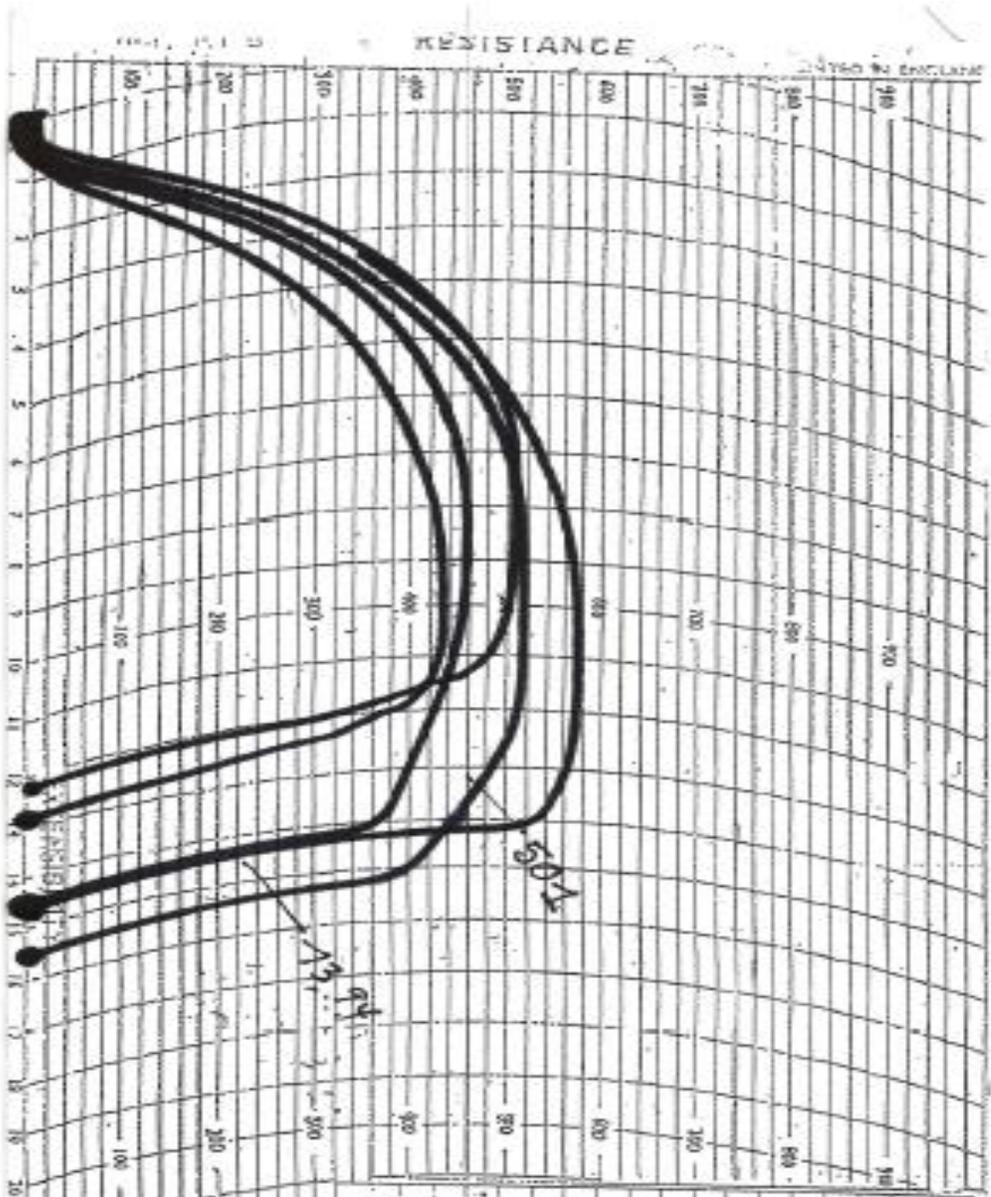
Velocidad de amasado 80 rpm

α :	-0,054	Nm/min
β :	0,104	Nm/min
γ :	-0,090	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	7,68	1,09	31,8	0,12	6,47
C2	20,00	0,33	64,4		
C3	32,18	1,58	85,3		
C4	32,92	1,53	84,6		
C5	45,02	1,82	60,6		



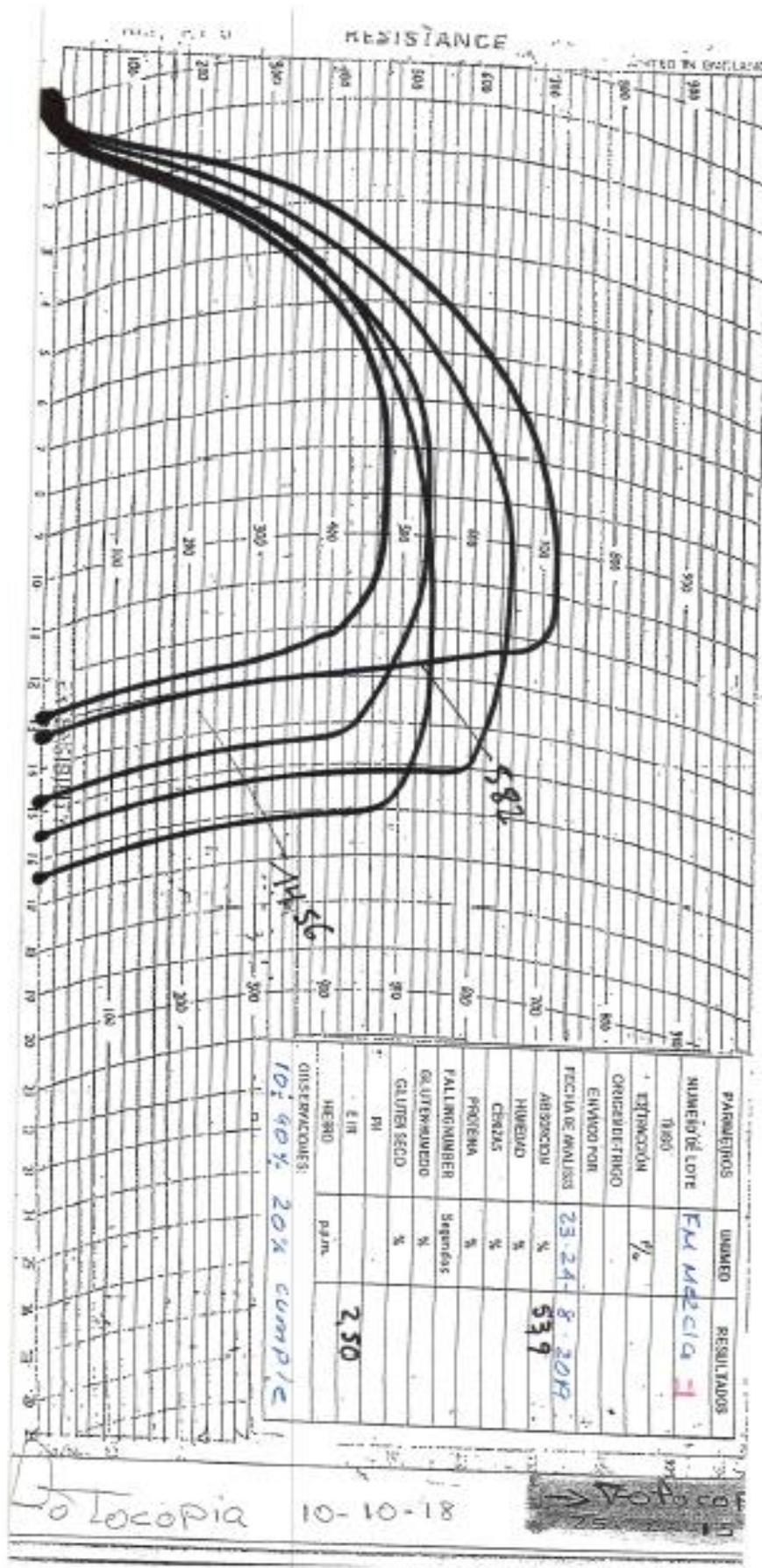


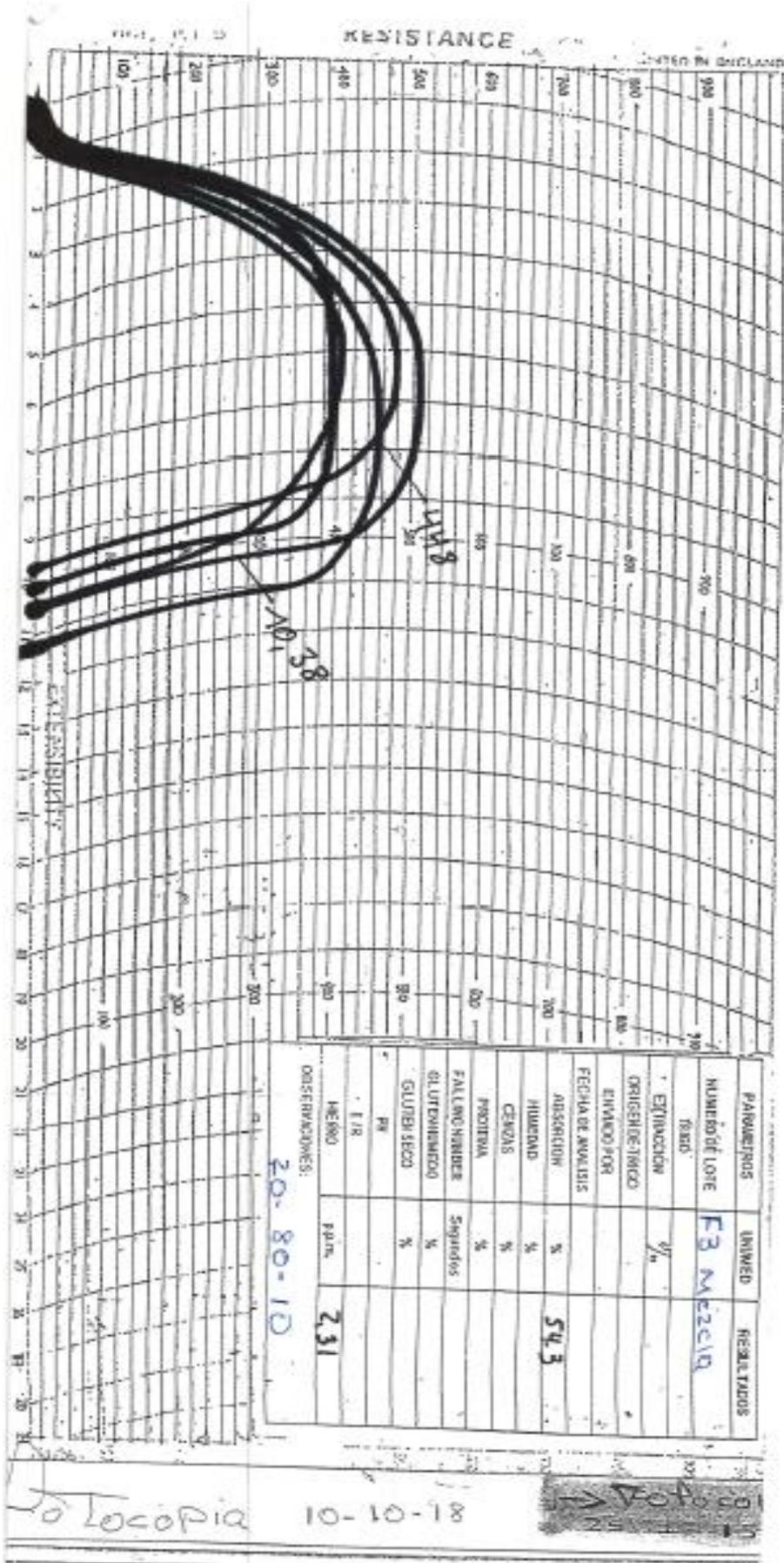


PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS
NUMERO DE LOTE		FJ-10-90-10
TIPO		
EFECTUACION	%	
ORIGEN DE TRIGO		
EMVANO POR		
FECHA DE ANALISIS		
ABSORCION	%	54.5
HUMEDAD	%	
CENIZAS	%	
PROTEINA	%	
FALLA INCIENEN	Segundos	
GLUTENINADO	%	
GALIBRADO	%	
PH		
ETA		2.18
HECHO	PARTE	
OBSERVACIONES:		
24		

10-10-18

10-10-18

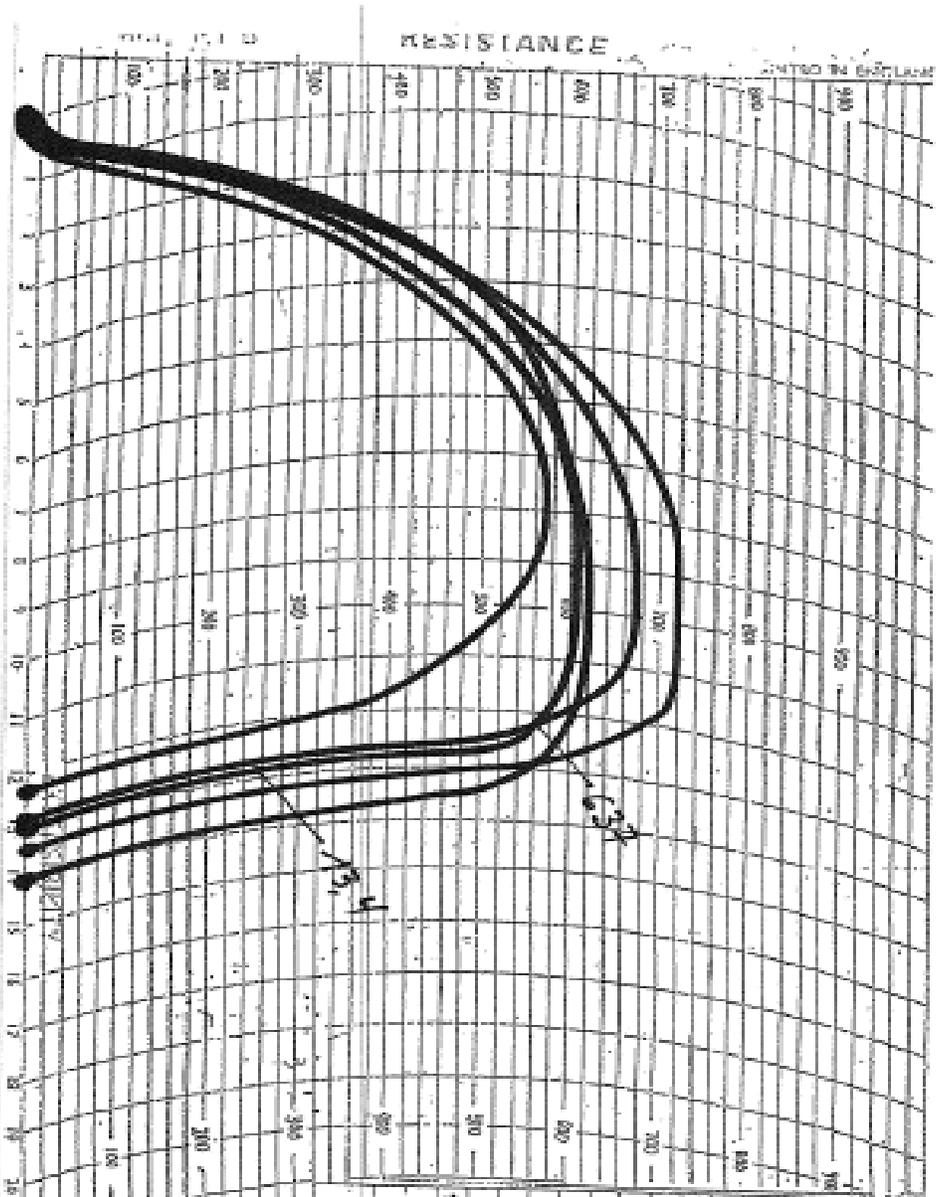




PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS
Numero de lote		F3 Mezcla
EXTINCCION	%	
ORIGEN DE TRIGO		
ENVASADO POR		
FECHA DE ANALISIS		
ABSORCION	%	54.3
HUMEDAD	%	
CEMOZAS	%	
PROTEINA	%	
FALLA NO NUMER	Sigurdas	
GLUTEN HUMEDO	%	
GLUTEN SECO	%	
PH		
EIR		
HEBIDO	part.	2.31

10-10-18

10-10-18



PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS
NUMERO DE LOTE	20%	80.1. 20%
EXTRACCION TIPO	%	
ORIGEN DE TRIGO		
ENVASADO POR		
FECHA DE ANALISIS	26.23	08-19
ABSORCION	%	54.3
HUMEDAD	%	
CEJAS	%	
PROTEINA	%	
FALLING NUMBER	Seminos	
GLUTEN HUMEDO	%	
GLUTEN SECO	%	
MI		
ETR		2.16
HEBIL	mm.	

OBSERVACIONES:

10-10-18
 Copia

C. Anexo: Formato análisis sensorial - Prueba Hedónica



MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Frente a usted hay 2 muestras de galleta. Por favor, pruébelas y marque de 1 a 5 siendo 1 me disgusta mucho y 5 me gusta mucho en cada uno de los atributos que se evaluarán en esta prueba.

ATRIBUTO	MUESTRA 145	MUESTRA 258
COLOR		
OLOR		
TEXTURA		
SABOR		
APARIENCIA GLOBAL		
¿Compraría la muestra?	SI - NO	SI - NO

1. Me disgusta mucho
2. Me disgusta
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta
5. Me gusta mucho

OBSERVACIONES- SUGERENCIAS

Bibliografía

- AACC. (1999). *Method 56-81B Determination of Falling Number*. Retrieved from <http://methods.aaccnet.org/summaries/56-81-04.aspx>
- Abbasi, H., Ardabili, S. M. S., Emam-Djomeh, Z., Mohammadifar, M. A., Zekri, M., & Aghagholizadeh, R. (2012). Prediction of extensograph properties of wheat-flour dough: Artificial neural networks and a genetic algorithm approach. *Journal of Texture Studies*, 43(4), 326–337. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00342.x>
- Agudelo, C. A. (2008). Flora De Colombia: Amaranthaceae. *Flora de Colombia*, 23(1). <https://doi.org/10.1177/0016549299061005002>
- Aguilar, E. G., Peiretti, E. G., Uñates, M. A., Marchevsky, E. J., Escudero, N. L., & Camiña, J. M. (2013). Amaranth seed varieties. A chemometric approach. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 7(4), 199–206. <https://doi.org/10.1007/s11694-013-9156-1>
- Ahmed, J., Ptaszek, P., & Basu, S. (2017). *Advances in Food Rheology and Its Applications*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Alarcón G, M. Á., López V, J. H., & Alonso Restrepo M, D. (2014). Efecto de la inclusión de una fuente de fibra dietaria sobre la degradación lipídica y proteica de un producto cárnico tipo hamburguesa. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(1), 77–84. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182014000100011>
- Alcázar-Alay, S. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, 35(2), 215–236. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>
- Alemayehu, F. R., Bendevis, M. A., & Jacobsen, S. E. (2015). The Potential for Utilizing the Seed Crop Amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an Alternative Crop to Support Food Security and Climate Change Mitigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(5), 321–329. <https://doi.org/10.1111/jac.12108>
- Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2018). Composition, protein profile and rheological properties of pseudocereal-based protein-rich ingredients. *Foods*, 7(5). <https://doi.org/10.3390/foods7050073>
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
- Amjid, M., Shehzad, A., Hussain, S., Shabbir, M., Khan, M., & Shoaib, M. (2013). A comprehensive review on wheat flour dough rheology. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 23(2), 105–123.
- AOAC. (2005). *Official methods of analyses of the association of analytical chemists* (18th ed.; W. Horwitz, Ed.). J. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International.
- Aztaiza, M., Ruiz, L., & Elizalde, A. (2010). Elaboración de pastas alimenticias enriquecidas a partir de harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa wild*) y Zanahoria (*Daucus carota*). *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 8(1), 43–53.
- Bakerpedia. (2019). Falling Number Test. Retrieved from The BAKER Academy website: <https://bakerpedia.com/processes/falling-number-test/>
- Bakerpedia. (2020a). Damage Starch. Retrieved from Baker Academy website: <https://bakerpedia.com/processes/damaged-starch/>
- Bakerpedia. (2020b). Gluten Washing Tests. Retrieved from Baker Academy website: <https://bakerpedia.com/processes/gluten-washing-tests/>
- Bakerpedia. (2020c). Reducing Agents. Retrieved from Baker Academy website: <https://bakerpedia.com/ingredients/reducing-agents/>
- Banerji, A., Ananthanarayan, L., & Lele, S. (2018). Rheological and nutritional studies of amaranth enriched wheat chapatti (Indian flat bread). *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), 4–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13361>
- Batista, A. P., Nicolai, A., Bursic, I., Sousa, I., Raymundo, A., Rodolfi, L., ... Čanadanović-Brunet, J. (2019). Microalgae as functional ingredients in savory food products: Application to wheat crackers. *LWT - Food Science and Technology*, 8(12), 694–699. <https://doi.org/10.3390/foods8120611>
- Belton, P. S., & Taylor, J. R. N. (2002). *Pseudocereal and Less Common Cereal: Grain Properties and Utilization Potential*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-09544-7>
- Bet, C. D., de Oliveira, C. S., Colman, T. A. D., Marinho, M. T., Lacerda, L. G., Ramos, A. P., & Schnitzler, E. (2018). Organic amaranth starch: A study of its technological properties after heat-moisture treatment. *Food Chemistry*, 264(April), 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.021>

- Bhat, A., Satpathy, G., & Gupta, R. K. (2015). Evaluation of Nutraceutical properties of *Amaranthus hypochondriacus* L . grains and formulation of value added cookies. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3(5), 51–54.
- Bian, Q., Sittipod, S., Garg, A., & Ambrose, R. P. K. (2015). Bulk flow properties of hard and soft wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 63, 88–94.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.03.010>
- Blanco-Canalis, M. S., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2017). Effect of inulin on dough and biscuit quality produced from different flours. *International Journal of Food Studies*, 6(1), 13–23. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a2>
- Blanco Canalis, M. S., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2019). Incorporation of dietary fiber on the cookie dough. Effects on thermal properties and water availability. *Food Chemistry*, 271(July 2018), 309–317.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.146>
- Blazek, J., & Copeland, L. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 380–387.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.010>
- Bonomi, F., Ferranti, P., & Mamone, G. (2014). Wheat Flour: Chemistry and Biochemistry. *Bakery Products Science and Technology: Second Edition*, 9781119967, 55–74.
<https://doi.org/10.1002/9781118792001.ch3>
- Boucheham, N., Galet, L., Patry, S., & Zidoune, M. N. (2019). Physicochemical and hydration properties of different cereal and legume gluten-free powders. *Food Science and Nutrition*, 7(9), 3081–3092. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1170>
- Burgos, V. E., & Armada, M. (2015). Characterization and nutritional value of precooked products of kiwicha grains (*Amaranthus caudatus*). *Food Science and Technology*, 35(3), 531–538. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6767>
- Calzetta Resio, A. N. (1999). *Almidón de amaranto : Obtención y evaluación de sus características fisicoquímicas*. Universidad de Buenos Aires.
- Cappelli, A., Cini, E., Guerrini, L., Masella, P., Angeloni, G., & Parenti, A. (2018). Predictive models of the rheological properties and optimal water content in doughs: An application to ancient grain flours with different degrees of refining. *Journal of Cereal Science*, 83(April), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.09.006>
- Cárdenas-Hernández, A., Beta, T., Loarca-Piña, G., Castaño-Tostado, E., Nieto-Barrera, J. O., & Mendoza, S. (2016). Improved functional properties of pasta: Enrichment

- with amaranth seed flour and dried amaranth leaves. *Journal of Cereal Science*, *72*, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.014>
- Caselato-Sousa, V. M., & Amaya-Farfán, J. (2012). State of Knowledge on Amaranth Grain: A Comprehensive Review. *Journal of Food Science*, *77*(4), 93–104. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x>
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2006). *Baked Products : Science , Technology and Practice*.
- Chaparro, S., Tavera, M., Martínez, J., & Gil, J. (2014). Propiedades funcionales de la harina y de los aislados proteicos de la semilla de guanábana (*Annona muricata*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *17*(1), 151–160. <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n1.2014.950>
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus spp* .) flour LWT - Food Science and Technology Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and ge. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(2), 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115>
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). Physical, textural, and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1125773>
- Chopin. (2015). Mixolab 2 Manual de Usuario. Retrieved from Chopin Technologies website: <http://concereal.net/wp-content/uploads/2017/03/Mixolab-Espanol.pdf>
- Chopin Technologies. (2015). SDmatic manual de usuario. *Servicio Tecnico Oficial Chopin*.
- Claus, A., Carle, R., & Schieber, A. (2008). Acrylamide in cereal products: A review. *Journal of Cereal Science*, *47*(2), 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.016>
- Clemens, M. E. (2015). *Dietary Fiber: Production Challenges, Food Sources and Health Benefits* (M. E. Clemens, Ed.). NOVA.
- CODEX. (1995). *Norma del codex para la harina de trigo -CODEX STAN 152-1985*. 1–4.
- Codină, G.G, Zaharia, D., Sanduleac, E. T., & Dabija, A. (2017). Effect of inulin with different polumerisation degree on wheat flour dough rheological properties of 1250 type. In *The multidisciplinary science of Rheology - Towards a healthy and sustainable development* (Vol. 53).
- Codină, Georgiana Gabriela, Istrate, A. M., Gontariu, I., & Mironeasa, S. (2019).

- Rheological Properties of Wheat–Flaxseed Composite Flours Assessed by Mixolab and Their Relation to Quality Features. *Foods*, 8(33).
<https://doi.org/10.3390/foods8080333>
- Codină, Georgiana Gabriela, Ropciuc, S., & Dabija, A. (2019). Optimization of calcium–magnesium–inulin formulation on wheat flour dough rheological properties. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13219>
- Congreso de Colombia. *Ley 1355 de 2019*. , (2009).
- Cook, C. M., Rains, T. M., & Maki, K. C. (2013). Effects of Oats on Obesity, Weight Management, and Satiety. *Oats Nutrition and Technology*, 265–279.
<https://doi.org/10.1002/9781118354100.ch12>
- Coțovanu, I., Batariuc, A., & Mironeasa, S. (2020). Characterization of quinoa seeds milling fractions and their effect on the rheological properties of wheat flour dough. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(20), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app10207225>
- Coțovanu, I., Stoenescu, G., & Mironeasa, S. (2020). Amaranth Influence on Wheat Flour Dough Rheology: Optimal Particle Size and Amount of Flour Replacement. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(3), 366–373.
<https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.10.3.366-373>
- Czaja, T., Sobota, A., & Szostak, R. (2020). Quantification of ash and moisture in wheat flour by Raman spectroscopy. *Foods*, 9(3), 1–7.
<https://doi.org/10.3390/foods9030280>
- D’Amico, S., & Schoenlechner, R. (2017). Amaranth: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In *Gluten-Free Ancient Grains*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100866-9/00006-6>
- Dahl, W. J., & Stewart, M. L. (2015). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Health Implications of Dietary Fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 115(11), 1861–1870. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.09.003>
- Dalgleish, T., Williams, J. M. G. ., Golden, A.-M. J., Perkins, N., Barrett, L. F., Barnard, P. J., ... Watkins, E. (2010). Global Recommendations on physical activity for health. In *Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 136).
- Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (1996). *Fennema’s Food Chemistry Food Science and Technology* (Fourth Edi). Taylor & Francis.
- Davidson, I. (2019). *Biscuit, Cookie and Cracker Production* (Second Edi; Elsevier, Ed.).
- Delcour, J. A., & Hosney, C. R. (2010). *Principles of Cereals Science and Technology*.

- Delcour, J. A., Joye, I. J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K., & Lagrain, B. (2012). Wheat Gluten Functionality as a Quality Determinant in Cereal-Based Food Products. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3(1), 469–492. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101303>
- Difonzo, G., Pasqualone, A., Silletti, R., Cosmai, L., Summo, C., Paradiso, V. M., & Caponio, F. (2018). Use of olive leaf extract to reduce lipid oxidation of baked snacks. *Food Research International*, 108(January), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.034>
- Dubat, A. (2010). The New AACC International Approved Method to Measure Rheological Properties of a Dough Sample. *Cereal Foods World*, 55(3), 150–153.
- Dubat, A., & Boinot, N. (2012). Mixolab applications handbook: Rheological and enzyme analyses. *Chopin Technologies*, (May), 1–166. Retrieved from <http://concereal.net/wp-content/uploads/2017/03/2012-CHOPIN-Mixolab-Applications-Handbook-EN-SPAIN-3.pdf>
- Elmadfa, I., Meyer, A. L., Nowak, V., Nations, U., Food, W., & Hasenegger, V. (2006). European Nutrition and Health Report 2009. In *Annales Nestlé (Deutsche Ausg.)* (Vol. 62). <https://doi.org/10.1159/000110877>
- Escobar, N. P. (2012). *Evaluación Del Comportamiento De La Fibra Soluble Como Compuesto Bioactivo, Adicionada En Productos Horneados De Panadería Y Bizcochería*.
- Escudero, N. L., De Arellano, M. L., Luco, J. M., Giménez, M. S., & Mucciarelli, S. I. (2004). Comparison of the chemical composition and nutritional value of *Amaranthus cruentus* flour and its protein concentrate. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59(1), 15–21. <https://doi.org/10.1007/s11130-004-0033-3>
- FAO. (1997). *El Cultivo del Amaranto (Amaranthus spp.): producción, mejoramiento genético y utilización* (A. Mujica Sanches, M. Berti Diaz, & J. Izquierdo, Eds.). Retrieved from http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro01/home1.htm
- FAO. (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAQ Expert Consultation. In *FAO food and nutrition paper* (Vol. 92).
- FAO & WHO. (2009). Codex alimentarius commission. *Report of the 30th Session of the*

- Codex Committe on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses*, (November 2008), 83. Retrieved from http://www.codexalimentarius.org/input/download/report/710/al32_26e.pdf
- Fellows, P., & Hampton, A. (1992). *Small-scale food processing - A guide for appropriate equipment*. Retrieved from <http://www.fao.org/Wairdocs/X5434E/x5434e07.htm>
- Ferreya, V., Martín, F., María Silvia, G., Nestor, P., M, O. C., V, A., ... A, F. (2009). *Estudio de la Aceptabilidad en Escolares de Barras de Cereales Formuladas con Ovoalbúmina , Aceite de Soja y Miel Study of School Children ' s Acceptability of Cereal Bars Formulated with.* (January).
- Fonseca, Z., Ayala, D., Uribe, L. J., & Castaño, T. (2014). Aproximación a los Determinantes de la Doble Carga Nutricional en Colombia. *Boletín N°004*, (004), 52. Retrieved from minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/Boletin-04-2014-Aproximacion-Determinantes-doble-carga-nutricional-colombia.pdf
- Frakolaki, G., Giannou, V., Topakas, E., & Tzia, C. (2017). Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. *Journal of Cereal Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.023>
- Franck, A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87(S2), S287–S291. <https://doi.org/10.1079/bjn/2002550>
- Gamel, T. H., Linssen, J. P., Mesallam, A. S., Damir, A. A., & Shekib, L. A. (2006). Seed treatments affect functional and antinutritional properties of amaranth flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(7), 1095–1102. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2463>
- García-Salcedo, Á. J., Torres-Vargas, O. L., & Ariza-Calderón², H. (2017). Physical-chemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranth (*Amaranthus caudatus* L.), and chia (*Salvia hispanica* L.) flours and seeds. *Acta Agronomica*, 67(2). <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.63666>
- García, O., Aiello, C., Peña Chirino, M., Ruíz-Ramírez, J., & Acevedo Pons, I. (2012). Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* check for this species in other resources (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 919–928.
- Gökmen, V. (2016). Acrylamide in Food Analysis, Content and Potential Health Effects. In

- V. Gökmen (Ed.), *Elsevier* (Vol. 136).
- González, R., Bautista, M., Amaya, C., Báez, J., & Moreno, S. (2018). Evaluación tecnofuncional de la harina, aislado e hidrolizado proteico obtenidos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y chía (*Salvia hispanica* L.). *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *3*, 579–587. Retrieved from <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/9/96.pdf>
- Guan, E., Yang, Y., Pang, J., Zhang, T., Li, M., & Bian, K. (2020). Ultrafine grinding of wheat flour: Effect of flour/starch granule profiles and particle size distribution on falling number and pasting properties. *Food Science and Nutrition*, *8*(6), 2581–2587. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1431>
- Gujral, H. S., Sharma, B., & Singh, K. (2020). Rheological characterization of wheat flour as modified by adding barley glucagel (a β -glucan isolate) under thermo-mechanical stress using Mixolab. *Journal of Food Measurement and Characterization*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00626-7>
- Gupta, M., & Bhattacharya, S. (2017). Effect of ingredients on the quality characteristics of gluten free snacks. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(12), 3989–3999. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2863-6>
- Hadnađev, T. D., Torbica, A., & Hadnađev, M. (2011). Rheological properties of wheat flour substitutes/alternative crops assessed by Mixolab. *Procedia Food Science*, *1*, 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.051>
- Herath, H. M. T., Rupasinghe, K. M. D. T., Priyangani, D., & Silva, M. S. W. De. (2018). Formulation and physico-chemical properties of dietary fiber enhanced low glycemic multi-grain Cracker for adults using locally available cereals and legumes
Formulation and physico- chemical properties of dietary fiber enhanced low glycemic multi-grain g. *Research Journal of Chemical Sciences*, *8*(August), 1–10.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, *28*(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000300031>
- Herrán, O. F., Bermúdez, J. N., & Zea, M. del P. (2020). Cambios alimentarios en Colombia; resultados de dos encuestas nacionales de nutrición, 2010-2015. *Revista*

- de La Universidad Industrial de Santander. *Salud*, 52(1), 21–31.
<https://doi.org/10.18273/revsal.v52n1-2020004>
- Hess, J. M., & Slavin, J. L. (2018). The benefits of defining “snacks.” *Physiology and Behavior*, 193(April), 284–287. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.04.019>
- Hevia, F., Berti, M., Wilckens, R., & Yévenes, C. (2002). Contenido de proteína y algunas características del almidón en semilla de amaranto (*Amaranthus* spp.) cultivados en Chillan, Chile. *Agro Sur*, 30(1), 24–31. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2002.v30n1-03>
- Hoque, K. E., Kamaluddin, M. A., Abdul, A. Z., Athari, A., & Wahid, A. (2016). Building healthy eating habits in childhood : a study of the attitudes , knowledge and dietary habits of schoolchildren in Malaysia. *PeerJ*, 4(e2651).
<https://doi.org/10.7717/peerj.2651>
- Horstmann, S. W., Atzler, J. J., Heitmann, M., Zannini, E., Lynch, K. M., & Arendt, E. K. (2019). A comparative study of gluten-free sprouts in the gluten-free bread-making process. *European Food Research and Technology*, 245(3), 617–629.
<https://doi.org/10.1007/s00217-018-3185-2>
- Huschka, B., Bonomi, F., Marengo, M., Miriani, M., & Seetharaman, K. (2012). Comparison of lipid effects on structural features of hard and soft wheat flour proteins assessed by front-face fluorescence. *Food Chemistry*, 133(3), 1011–1016.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.006>
- ICBF. (2015). *Tabla de Composición de Alimentos Colombianos* (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Ed.). Retrieved from
http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/bienestar/nutricion/tabla-alimentos/TCAC_2015_FINAL.pdf
- ICBF, & FAO. (2015). *Documento técnico. Guías Alimentarias Basadas en Alimentos para la población colombiana mayor de 2 años*. Retrieved from
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/guias-alimentarias-basadas-en-alimentos.pdf>
- ICONTEC. (1996). *NTC 3932: Análisis sensorial. Identificación y selección de descriptores para establecer un perfil sensorial por una aproximación multidimensional*. 33.
- ICONTEC. *Norma Técnica Colombiana NTC 267 Harina de Trigo*. , (2007).
- ICONTEC. (2007b). *NTC 1241 Productos de molinería. Galletas* (p. 17). p. 17. Instituto

Colombiano de Normas Técnicas -ICONTEC-.

- ICONTEC, I. C. de N. T. y certificación. *NTC 267-Harina de Trigo*. , (2007).
- ICONTEC, I. C. de N. T. y certificación. *GTC -293 Análisis sensorial. Metodología guía general para la realización de pruebas hedónicas con consumidores en un área controlada*. , (2018).
- ILSI. (2018). *Papel de los Cereales y los Pseudocereales en la Seguridad Alimentaria*. Bogotá.
- Jaksics, E., Paszerbovics, B., Egri, B., Rakszegi, M., Tremmel-Bede, K., Vida, G., ... Tömösközi, S. (2020). Complex rheological characterization of normal, waxy and high-amylose wheat lines. *Journal of Cereal Science*, 93(March).
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102982>
- Janssen, F., Pauly, A., Rombouts, I., Jansens, K. J. A., Deleu, L. J., & Delcour, J. A. (2017). Proteins of Amaranth (*Amaranthus* spp.), Buckwheat (*Fagopyrum* spp.), and Quinoa (*Chenopodium* spp.): A Food Science and Technology Perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 39–58.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12240>
- Jones, J. M. (2014). CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the “fiber gap.” *Nutrition Journal*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-34>
- Joshi, D. C., Sood, S., Hosahatti, R., Kant, L., Pattanayak, A., Kumar, A., ... Stetter, M. G. (2018). From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(9), 1807–1823.
<https://doi.org/10.1007/s00122-018-3138-y>
- Kahlon, T. S., Avena-Bustillos, R. J., & Chiu, M. C. M. (2016). Sensory evaluation of gluten-free quinoa whole grain snacks. *Heliyon*, 2(12), e00213.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00213>
- Kaur, S., Singh, N., & Rana, J. C. (2010). *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristics of plants, grain and flours. *Food Chemistry*, 123(4), 1227–1234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.091>
- Kent, N. L., & Evers, A. D. (1994). Kent's Technology of Cereals. *Kent's Technology of Cereals*, 4(664'7-dc20). <https://doi.org/10.1533/9781855736603.218>
- Khalil, A. W., Ali, J., Masood, T., Arif, M., Parvez, M., & Hassan, S. (2015). Effect of Oat Bran on the Quality of Enriched High Fiber Biscuits. *World Journal of Dairy & Food*

- Sciences*, 10(1), 68–73. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjdfs.2015.10.1.92229>
- Kim, E. H. J., Corrigan, V. K., Wilson, A. J., Waters, I. R., Hedderley, D. I., & Morgenstern, M. P. (2012). Fundamental fracture properties associated with sensory hardness of brittle solid foods. *Journal of Texture Studies*, 43(1), 49–62. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00316.x>
- Kim, J. S., & Koh, B. K. (2019). Rice varieties in relation to saltine rice cracker quality. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1899–1909. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1691587>
- King, J. A., Jeong, J., Underwood, F. E., Quan, J., Panaccione, N., Windsor, J. W., ... Kaplan, G. G. (2020). Incidence of Celiac Disease Is Increasing over Time: A Systematic Review and Meta-analysis. *American Journal of Gastroenterology*, 115(4), 507–525. <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000000523>
- Kiszonas, A. M., Engle, D. A., Pierantoni, L. A., & Morris, C. F. (2018). Relationships between Falling Number, α -amylase activity, milling, cookie, and sponge cake quality of soft white wheat. *Cereal Chemistry*, 95(3), 373–385. <https://doi.org/10.1002/cche.10041>
- Kong, X., Bao, J., & Corke, H. (2009). Physical properties of Amaranthus starch. *Food Chemistry*, 113(2), 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.028>
- Kumar, R., Martin, K. A., Lekshmi, M., Balange, A., & Gudipati, V. (2018). Fortification of extruded snacks with chitosan: Effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate Polymers*, 194(April), 267–273. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.050>
- Kurek, M. A., Karp, S., Wyrwicz, J., & Niu, Y. (2018). Physicochemical properties of dietary fibers extracted from gluten-free sources: quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*) and millet (*Panicum miliaceum*). *Food Hydrocolloids*, 85(January), 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.021>
- Kusumayanti, H., Handayani, N. A., & Santosa, H. (2015). Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia Environmental Sciences*, 23(Ictcred 2014), 164–167. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025>
- Lamothe, L. M., Srichuwong, S., Reuhs, B. L., & Hamaker, B. R. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food Chemistry*, 167, 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.022>

- Li, J., Hou, G. ., & Chen, Z. X. (2016). Improvement of Gums in Physicochemical and Rheological Properties of Barley-fortified Saltine Cracker Dough. *Cereal Research Communications*, 44(3), 481–489. <https://doi.org/10.1556/0806.44.2016.016>
- Li, J., Hou, G. G., & Chen, Z. (2013). Whole grain saltine crackers: Formulation, processing, and quality improvements. *Cereal Foods World*, 58(4), 180–185. <https://doi.org/10.1094/CFW-58-4-0180>
- Lindarte, J., & Gutierrez, L. (2016). *Evaluación de β -glucanos de Ganoderma lucidum como sustituto de grasa en tortas* (Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57793>
- Ling Chin, N., & J. Martin, P. (2014). *Bakery Products Science and Technology -Cap 26 Rheology of Bread and Other Bakery Products* (Second; and N. T. W. Zhou, Y. H. Hui, I. De Leyn, M. A. Pagani, C. M. Rosell, J. D. Selman, Ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118792001.ch26>
- Liu, J. J., Luo, D., Li, X., Xu, B., Zhang, X., & Liu, J. J. (2016). Effects of inulin on the structure and emulsifying properties of protein components in dough. *Food Chemistry*, 210, 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.001>
- Liu, S., Chen, D., & Xu, J. (2019). Characterization of amaranth and bean flour blends and the impact on quality of gluten-free breads. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(2), 1440–1450. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00060-4>
- Lopez-Castejon, M. ., Bengoechea, C., Espinosa, S., & Carrera, C. (2019). Caracterización de emulsiones prebióticas estabilizadas con inulina y b-lactoglobulina. *Afinidad*, 76(585).
- López, D. N., Galante, M., Raimundo, G., Spelzini, D., & Boeris, V. (2019). Functional properties of amaranth, quinoa and chia proteins and the biological activities of their hydrolyzates. *Food Research International*, 116(August 2018), 419–429. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.056>
- Luo, D., Kou, X., Zhang, T., Nie, Y., Xu, B., Li, P., ... Liu, J. (2018). Effect of inulin on rheological properties of soft and strong wheat dough. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(7), 1648–1656. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13748>
- Luo, D., Liang, X., Xu, B., Kou, X., Li, P., Han, S., ... Zhou, L. (2017). Effect of inulin with different degree of polymerization on plain wheat dough rheology and the quality of steamed bread. *Journal of Cereal Science*, 75, 205–212.

- <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.009>
- Lynch, E. J., Dal Bello, F., Sheehan, E. M., Cashman, K. D., & Arendt, E. K. (2009). Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics. *Food Research International*, 42(7), 885–891. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.014>
- Machado Alencar, N. M., Joy Steel, C., Dutra Alvim, I., Carvalho de Moraes, E., & Andre Bolini, H. M. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1011–1018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.029>
- Madrigal, L., & Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 57(4), 387–396. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00230.x>
- Magaña-Barajas, E., Ramírez-Wong, B., Platt-Lucero, L. C., López-Ahumada, G. A., Torres, P. ., & Sánchez-Machado, D. . (2009). Viscoelastic characteristics of dough from soft wheat cultivars. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 24(1), 12–22. Retrieved from file:///C:/Users/veteri/Downloads/48212169004.pdf
- Magnus, E. M., Bråthen, E., Sahlstrøm, S., Vogt, G., & Færgestad, E. M. (2000). Effects of flour composition, physical dough properties and baking process on hearth loaf properties studied by multivariate statistical methods. *Journal of Cereal Science*, 32(2), 199–212. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0325>
- Manley, D. (2001). Biscuit, cracker and cookie recipes for the food industry. In *Biscuit, cracker and cookie recipes for the food industry*. <https://doi.org/10.1533/9781855736269>
- Manley, D. (2011). *Manley ' s technology of biscuits , crackers and cookies* (Fourth edi; W. Publishing, Ed.).
- Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M. A., & Iametti, S. (2008). Macromolecular interactions and rheological properties of buckwheat-based dough obtained from differently processed grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(11), 4258–4267. <https://doi.org/10.1021/jf800009e>
- Martinez-Lopez, A., Millan-Linares, M. C., Rodriguez-Martin, N. M., Millan, F., & Montserrat-de la Paz, S. (2020). Nutraceutical value of kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of Functional Foods*, 65(October), 103735. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103735>

- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137(December 2019), 111178. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>
- McAllister, J. T., Walker, C. K., & Panozzo, J. F. (2011). Influence of starch composition on starch damage values determined by megazyme and sdmatic methods. *Cereal Chemistry*, 88(4), 349–351. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-10-10-0142>
- McCann, T. H., & Day, L. (2013). Effect of sodium chloride on gluten network formation, dough microstructure and rheology in relation to breadmaking. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 444–452. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.01.011>
- McGill, C. R., Fulgoni, V. L., & Devareddy, L. (2015). Ten-year trends in fiber and whole grain intakes and food sources for the united states population: National health and nutrition examination survey 2001-2010. *Nutrients*, 7(2), 1119–1130. <https://doi.org/10.3390/nu7021119>
- Meaño Correa, N., Ciarfella Perez, A. T., & Dorta Villegas, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*, 26(2), 182–187.
- Melis, S., & Delcour, J. A. (2020). Impact of wheat endogenous lipids on the quality of fresh bread: Key terms, concepts, and underlying mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, (July), 1–40. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12616>
- Menjivar, J. A. (1990). Fundamental Aspects of Dough Rheology. *Dough Rheology and Baked Product Texture*, 1–28. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0861-4_1
- Mensink, M. A., Frijlink, H. W., Voort, K. Van Der, & Hinrichs, W. L. J. (2015). Inulin , a flexible oligosaccharide I : Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 130, 405–419. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.026>
- Meyer, D., & Blaauwhoed, J. P. (2009). Inulin. *Handbook of Hydrocolloids: Second Edition*, 829–848. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.829>
- Millar, K. A., Barry-Ryan, C., Burke, R., Hussey, K., McCarthy, S., & Gallagher, E. (2017). Effect of pulse flours on the physiochemical characteristics and sensory acceptance of baked crackers. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(5),

- 1155–1163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13388>
- Ministerio de la Protección Social, C. Resolución 333 de 2011. , 2011 Reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano § (2011).
- Minzanova, S. T., Mironov, V. F., Vyshtakalyuk, A. B., Tsepaeva, O. V., Mironova, L. G., & Konovalov, A. I. (2014). Pectic polysaccharides from the plant *Amaranthus cruentus*. Water-soluble complexes of amaranth pectin with macro- and microelements. *Russian Chemical Bulletin*, 63(9), 2142–2155. <https://doi.org/10.1007/s11172-014-0712-6>
- Mir, S. A., Bosco, S. J. D., & Shah, M. A. (2018). Technological and nutritional properties of gluten-free snacks based on brown rice and chestnut flour. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 0–5. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.02.002>
- Miranda-Ramos, K. C., Sanz-Ponce, N., & Haros, C. M. (2019). Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *Lwt*, 114(July), 108418. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108418>
- Miś, A., & Dziki, D. (2013). Extensograph curve profile model used for characterising the impact of dietary fibre on wheat dough. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.02.004>
- Mlakar, S. G., Bavec, M., Turinek, M., & Bavec, F. (2009). Rheological properties of dough made from grain amaranth-cereal composite flours based on wheat and spelt. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(5), 309–319. <https://doi.org/10.17221/61/2009-cjfs>
- Monnet, A. F., Eurieult, A., Berland, S., Almeida, G., Jeuffroy, M. H., & Michon, C. (2019). Damaged starch in pea versus wheat flours: Fragmentation behavior and contribution of fine and coarse fractions. *Cereal Chemistry*, 96(3), 465–477. <https://doi.org/10.1002/cche.10146>
- Montero-Quintero, K. C., Moreno-Rojas, R., Alí Molina, E., Colina-Barriga, M. S., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2015). Efecto del consumo de panes integrales con amaranto (*Amaranthus dubius* Mart; ex Thell;) sobre la respuesta glicémica y parámetros bioquímicos en ratas Sprague dawley. *Nutricion Hospitalaria*, 31(1), 313–320. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7695>
- MSPS. (2011). Encuesta Nacional De La Situación Nutricional En Colombia 2010 - ENSIN. In M. de S. y P. Social (Ed.), *Ensin*. <https://doi.org/9789586231121>

- MSPS. *Resolución 3803 de 2016 Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes (RIEN) para la población colombiana y se dictan otras disposiciones.* , (2016).
- MSPS. (2017). *Gobierno presenta Encuesta Nacional de Situación Nutricional de Colombia (ENSIN) 2015*. Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Gobierno-presenta-Encuesta-Nacional-de-Situación-Nutricional-de-Colombia-ENSIN-2015.aspx>
- Mudgil, D., & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61(January 2015), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044>
- Myhre, J. B., Løken, E. B., Wandel, M., & Andersen, L. F. (2015). The contribution of snacks to dietary intake and their association with eating location among Norwegian adults - Results from a cross-sectional dietary survey. *BMC Public Health*, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-1712-7>
- Nahar, N., Madzuki, I. N., Izzah, N. B., Karim, S. A., & Ghazali, H. M. (2019). Bakery Science of Bread and the Effect of Salt Reduction on Quality: A Review. *Borneo Journal of Sciences and Technology*, (January), 9–14. <https://doi.org/10.35370/bjost.2019.1.1-03>
- Nammakuna, N., Barringer, S. A., & Ratanatriwong, P. (2016). The effects of protein isolates and hydrocolloids complexes on dough rheology, physicochemical properties and qualities of gluten-free crackers. *Food Science and Nutrition*, 4(2), 143–155. <https://doi.org/10.1002/fsn3.266>
- Nascimento, A. C., Mota, C., Coelho, I., Gueifão, S., Santos, M., Matos, A. S., ... Castanheira, I. (2014). Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays L.*) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. *Food Chemistry*, 148, 420–426. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.155>
- Nielsen. (2018). Estudio Saludable de Nielsen. Retrieved from Nielsen Copyrights website: <https://www.nielsen.com/co/es/insights/article/2018/4-de-cada-10-colombianos-estan-cambiando-a-la-version-saludable-de-su-producto-preferido/>
- Nieto-Mazzocco, E., Saldaña-Robles, A., Franco-Robles, E., Rangel-Contreras, A. K., Cerón-García, A., & Ozuna, C. (2020). Optimization of sorghum, rice, and amaranth

- flour levels in the development of gluten-free bakery products using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.14302>
- Ooms, N., & Delcour, J. A. (2019). How to impact gluten protein network formation during wheat flour dough making. *Current Opinion in Food Science*, 25, 88–97.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.04.001>
- Paciulli, M., Littardi, P., Carini, E., Paradiso, V. M., Castellino, M., & Chiavaro, E. (2020). Inulin-based emulsion filled gel as fat replacer in shortbread cookies: Effects during storage. *Lwt*, 133, 109888. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109888>
- Pagani, M. A., Marti, A., & Bottega, G. (2014). Wheat Milling and Flour Quality Evaluation. *Bakery Products Science and Technology: Second Edition*, 9781119967, 17–53.
<https://doi.org/10.1002/9781118792001.ch2>
- Paredes-López, O. (1994). *Amaranth Biology, Chemistry and Technology*.
- Paux, L., & Rosentrater, K. A. (2018). Development of Gluten-Free Egg Pasta based on Amaranth, Maize and Sorghum. *Journal of Food Research*, 7(6), 16.
<https://doi.org/10.5539/jfr.v7n6p16>
- Perten Instruments. (1996). *Glutomatic System - Operation Manual*.
- Ponce, J. C., Malaga, J. ., Huamani, A. ., & Chuqui, S. . (2016). Optimización de la concentración de la α -amilasa y lactosuero en el mejoramiento de las características tecnológicas, nutricionales y sensoriales del pan francés. *Agroindustrial Science*, 5(1), 127–132. Retrieved from
<http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/1059/987>
- Preetham, K. V., Dharmaraj, U., Sakhare, S. D., & Inamdar, A. A. (2016). Preparation of protein and mineral rich fraction from grain amaranth and evaluation of its functional characteristics. *Journal of Cereal Science*, 69, 358–362.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.002>
- Qadri, T., Hussain, S. Z., Rather, A. H., Amin, T., & Naseer, B. (2018). Nutritional and storage stability of wheat-based crackers incorporated with brown rice flour and carboxymethyl cellulose (Cmc). *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1117–1128. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1485033>
- Rastogi, A., & Shukla, S. (2013). Amaranth: A New Millennium Crop of Nutraceutical Values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(2), 109–125.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2010.517876>

- Ridley, B. L., O'Neill, M. A., & Mohnen, D. (2001). Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57(6), 929–967. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00113-3)
- Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influence of the Partial Substitution of Wheat Flour for Quinoa and Potato Flour on the Thermomechanical and Breadmaking Properties of Dough. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 199–207.
- Rojas, W., Alandia, G., Irigoyen, J., Blajos, J., & Santivañez, T. (2011). La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. *Oficina Regional Para America Latina y El Caribe, FAO*, 37, 66. https://doi.org/http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinoa_es.pdf
- Roman, M., & Valencia, F. (2006). Evaluación De Galletas Con Fibra De Cereales Como Alimento Funcional. *Revista de La Facultad de Química Farmaceutica*, 13 Número(53), 36–43. <https://doi.org/10.4270/ruc.2010216>
- Rosell, C. M., Collar, C., & Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21(3), 452–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.05.004>
- Rustemova, A., Kydyraliev, N., Sadigova, M., & Batyrbayeva, N. (2020). Study of rheological properties of cakedough from a mixture of wheat and amaranth flour. *BIO Web of Conferences*, 17, 00145. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700145>
- Saeid, A., Hoque, S., Kumar, U., Das, M., Muhammad, N., Rahman, M., & Ahmed, M. (2015). Comparative studies on nutritional quality of commercial wheat flour in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 50(3), 181–188. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v50i3.25581>
- Saeleaw, M., & Schleining, G. (2010). Effect of blending cassava starch, rice, waxy rice and wheat flour on physico-chemical properties of flour mixtures and mechanical and sound emission properties of cassava crackers. *Journal of Food Engineering*, 100(1), 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.020>
- Sangeeta, J., & Grewal, R. B. (2018). *Characterization of starch extracted from Amaranth*. 9(3), 5356.
- Santra, D. K., & Schoenlechner, R. (2016). Amaranth Part 2-Sustainability, Processing,

- and Applications of Amaranth. In *Sustainable Protein Sources*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00016-0>
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-Smietana, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT - Food Science and Technology*, *50*(2), 679–685. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.031>
- Sedej, I., Sakač, M., Mandić, A., Mišan, A., Pestorić, M., Šimurina, O., & Čanadanović-Brunet, J. (2011). Quality assessment of gluten-free crackers based on buckwheat flour. *LWT - Food Science and Technology*, *44*(3), 694–699.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.010>
- Serna-Saldivar, S. O. (2010). Food Preservation Technology Series - Cereal Grains Properties, Processing, and Nutritional Attributes. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Serna-Saldivar, S. O. (2012). *Serna-Saldivar, S. O. (2012). Cereal Grains Laboratory Reference and Procedures Manual (G. V Barbosa-Canovas, ed.). Taylor & Francis.* (G. V Barbosa-Canovas, Ed.). Taylor & Francis.
- Serna, L., & Lopez, S. (2010). ACTUALIZACION DEL MANUAL DEL LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS DEL PROGRAMA DE TECNOLOGIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 1–177.
- Sharma, B., Gujral, H. S., & Solah, V. (2017). Effect of incorporating finger millet in wheat flour on mixolab behavior, chapatti quality and starch digestibility. *Food Chemistry*, *231*, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.118>
- Sharma, C., Singh, B., Hussain, S. Z., & Sharma, S. (2017). Investigation of process and product parameters for physicochemical properties of rice and mung bean (*Vigna radiata*) flour based extruded snacks. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(6), 1711–1720. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2606-8>
- Sharma, G., Sharma, S., Kumar, A., Al-Muhtaseb, A. H., Naushad, M., Ghfar, A. A., ... Stadler, F. J. (2018). Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, *199*(January), 534–545.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.053>
- Shevkani, K., Singh, N., Kaur, A., & Rana, J. C. (2014). Physicochemical, Pasting, and Functional Properties of Amaranth Seed Flours: Effects of Lipids Removal. *Journal of Food Science*, *79*(7). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12493>

- Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., ... Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147(October 2017), 444–454.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
- Sindhuja, A., Sudha, M. L., & Rahim, A. (2005). Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. *European Food Research and Technology*, 221(5), 597–601. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0039-5>
- Singh, A., & Punia, D. (2020). Characterization and Nutritive Values of Amaranth Seeds. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(3), 27–33.
<https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i330511>
- Singh, N., Gujral, H. S., Katyal, M., & Sharma, B. (2019). Relationship of Mixolab characteristics with protein, pasting, dynamic and empirical rheological characteristics of flours from Indian wheat varieties with diverse grain hardness. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03756-z>
- Singh, P., Singh, R., Jha, A., Rasane, P., & Gautam, A. K. (2015). Optimization of a process for high fibre and high protein biscuit. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1394–1403. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1139-z>
- Spiller, G. A. (2001). CRC Handbook of Dietary fiber in human nutrition. In *Harefuah* (Vol. 107). <https://doi.org/10.1201/9781420038514>
- Stone, A. K., Nosworthy, M. G., Chiremba, C., House, J. D., & Nickerson, M. T. (2019). A comparative study of the functionality and protein quality of a variety of legume and cereal flours. *Cereal Chemistry*, 96(6), 1159–1169.
<https://doi.org/10.1002/cche.10226>
- Sue Shan, L., Sulaiman, R., Sanny, M., & Nur Hanani, Z. A. (2015). Effect of extrusion barrel temperatures on residence time and physical properties of various flour extrudates. *International Food Research Journal*, 22(3), 965–972.
- Sungsoo, S., & Dreher, M. L. (2001). Handbook of Dietary fiber. In *Textbook of Natural Medicine*. Taylor & Francis.
- Tang, Y., Li, X., Chen, P. X., Zhang, B., Liu, R., Hernandez, M., ... Tsao, R. (2016). Assessing the fatty acid, carotenoid, and tocopherol compositions of amaranth and quinoa seeds grown in Ontario and their overall contribution to nutritional quality.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 1103–1110.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05414>
- Tanimola, A. R., Otegbayo, B., & Akinoso, R. (2016). Chemical, functional, rheological and sensory properties of amaranth flour and amaranth flour based paste. *African Journal of Food Science*, 10(11), 313–319. <https://doi.org/10.5897/ajfs2016.1422>
- Tecnosa. (2020a). EXTENSOGRAFO -E. Retrieved from Tecnosa Nuevas Tecnologías S.A. website: <https://tecnosa.es/catalogo/alimentacion/brabender-alim/extensografo-e/>
- Tecnosa. (2020b). FARINÓGRAFO-E. Retrieved from Tecnosa Nuevas Tecnologías S.A. website: <https://tecnosa.es/catalogo/alimentacion/brabender-alim/farinografo-e/>
- Thomas, S., Balakrishnan, P., & Sreekala, M. S. (2018). *Fundamental Biomaterials: Polymers*. Elsevier.
- Tömösközi, S., Gyenge, L., Pelcéder, Á., Abonyi, T., Schönlechner, R., & Lásztity, R. (2011). Effects of flour and protein preparations from amaranth and quinoa seeds on the rheological properties of wheat-flour dough and bread crumb. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(2), 109–116. <https://doi.org/10.17221/45/2010-cjfs>
- USDA. (2019). FoodData Central System. Retrieved from U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE -Agricultural Research Service website: <https://fdc.nal.usda.gov/>
- Vásquez, S. C., Verdú, F. ;, Islas, S. ;, Barat, A. R. ;, & Grau, J. M. (2016). EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO CON HARINA DE QUINOA (Chenopodium quinoa) SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA Y TEXTURALES DEL PAN. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 307–317. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041018>
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa willd.), an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541–2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>
- Vegas, R., Zavaleta, A., & Vegas, C. (2017). Effect of the pH and sodium chloride on the functional properties of flour of lupinus mutabilis “tarwi” seeds variety criolla. *Agroindustrial Science*, 7(1), 49–55. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2017.01.05>
- Velasquez- Ciro, J. H. (2006). *REOLOGÍA DE FLUIDOS Y SU APLICACION EN EL AREA DE LOS ALIMENTOS*.
- Venskutonis, P. R., & Kraujalis, P. (2013). Nutritional Components of Amaranth Seeds

- and Vegetables: A Review on Composition, Properties, and Uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(4), 381–412.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12021>
- WHO, W. H. O. (2020). Obesity and overweight. Retrieved from World Health Organization website: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24(2), 115–119.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.004>
- Williams & Marshall Strategy. (2020). *The Global Biscuits and Crackers Market - Market Analysis, Size, Segmentation, Trends, Consumption, Insights, Opportunities, Challenges and Forecast until 2024*. Retrieved from <https://www.businesswire.com/news/home/20200428005659/en/Global-Biscuits-Crackers-Market-Insights-and-Outlook-2014-2024---ResearchAndMarkets.com>
- Xu, J., Wang, W., & Li, Y. (2019). Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review. *Journal of Functional Foods*, 52(September 2018), 629–639. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.052>
- Xu, J., Zhang, Y., Wang, W., & Li, Y. (2020). Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 103(April), 200–213. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.017>
- Yanez, N., Useche, J. N., Bayona, H., Porrás, A., & Carrasquilla, G. (2020). Analyses of Mortality and Prevalence of Cerebrovascular Disease in Colombia, South America (2014-2016): A Cross-Sectional and Ecological Study. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 29(5), 104699.
<https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.104699>
- Yang, Y., Guan, E., Zhang, T., Li, M., & Bian, K. (2020). Comparison of rheological behavior, microstructure of wheat flour doughs, and cooking performance of noodles prepared by different mixers. *Journal of Food Science*, 85(4), 956–963.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15057>
- Yousf, N., Nazir, F., Salim, R., Ahsan, H., & Sirwal, A. (2017). Water solubility index and water absorption index of extruded product from rice and carrot blend. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry JPP*, 6(66), 2165–2168. Retrieved from <http://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue6/PartAD/6-6-326-909.pdf>

- Yue, Q., Li, M., Liu, C., Li, L., Zheng, X., & Bian, K. (2020). Extensional rheological properties in mixed and fermented/rested dough and relationships with steamed bread quality. *Journal of Cereal Science*, 93(March), 102968.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102968>
- Zayas, J. F. (1997). Chapter 3: Emulsifying Properties of Proteins. Functionality of Proteins in Food. In *Functionality of Proteins in Food* (pp. 134–227).
https://doi.org/10.1007/978-3-642-59116-7_4
- Zhang, H., Wang, H., Cao, X., & Wang, J. (2018). Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food Research International*, 113(May), 24–35.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.068>
- Zhang, Z., Kang, Y., & Che, L. (2019). Composition and thermal characteristics of seed oil obtained from Chinese amaranth. *Lwt*, 111(December 2018), 39–45.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.007>
- Zhou, W., Therdthai, N., & Hui, Y. H. (2014). *Bakery Products Science and Technology Introduction to Baking and Bakery Products*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118792001.ch1>
- Zhu, F. (2017). Structures, physicochemical properties, and applications of amaranth starch. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 313–325.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2013.862784>