

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE  
ENRIQUECIDO CON HARINA DE CHÍA (*Salvia Hispánica L.*)  
DESGRASADA Y SIN DESGRASAR”**

**PRESENTADO POR Bach. ESPINOZA EUSEBIO LISETTE  
KATHERINE y Bach. LUDEÑA ÁVALOS FREDY JONATHAN**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Chimbote – Perú

2018

## DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por cada día que me ofrece para poder superarme en lo personal y profesional, por demostrarme que siempre está ahí presente dándome fuerzas para salir adelante.

A mis padres Marlene y Eduardo, por su apoyo incondicional en todo el transcurso de mi vida, por sus consejos, su comprensión, los valores enseñados y el ejemplo de perseverancia y superación que inspiran en mí.

A mi hermana menor Tatiana, gracias por estar siempre conmigo, por tu amor, apoyo y consejos para salir adelante, porque eres mi ejemplo y mi orgullo.

A todos mis amigos, especialmente a José, Guisela, Fredy, Carlos y Lars, gracias por su presencia en esta etapa de mi vida, por sus buenos consejos, su apoyo y por demostrarme lo que significa tener buenos amigos.

*Lisette Espinoza E.*

## DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres José y Lurdes por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A todos mis amigos, especialmente a José, Guisela, Fredy, Carlos y Lars, gracias por su presencia en esta etapa de mi vida, por sus buenos consejos, su apoyo y por demostrarme lo que significa tener buenos amigos.

*Fredy Ludeña A.*

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer especialmente a nuestro asesor, el Dr. Gilbert Rodríguez Paucar por su respaldo, paciencia, sugerencias, apoyo constante y compromiso en la asesoría y desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los docentes de la E.A.P. de Ingeniería Agroindustrial, por los consejos, las enseñanzas y su apoyo brindado durante nuestra formación académica.

Agradecer especialmente también al Ing. Lenin Palacios, Ing. Jhon Gonzales, Ing. Pedro Ayala y la señorita Silvia Huacacolqui por el apoyo y colaboración durante la elaboración y desarrollo de nuestra tesis.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	23
II.	MARCO TEÓRICO.....	25
2.1.	EL TRIGO ( <i>Triticum Vulgare</i> ).....	25
2.1.1.	GENERALIDADES DE TRIGO .....	25
2.1.2.	TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA.....	25
2.1.3.	ESTRUCTURA DEL GRANO DE TRIGO .....	27
2.1.3.1.	Pericarpio .....	27
2.1.3.2.	Cubierta de la semilla o Testa.....	28
2.1.3.3.	Capa de aleurona .....	28
2.1.3.4.	Germen.....	29
2.1.3.5.	Endospermo.....	29
2.1.4.	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO .....	31
2.2.	HARINA DE TRIGO .....	32
2.2.1.	DEFINICIÓN .....	32
2.2.2.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	33
2.2.3.	PRINCIPALES COMPONENTES DE LA HARINA .....	33
2.2.4.	CLASIFICACIÓN DE LA HARINA DE TRIGO .....	35
2.3.	HARINA INTEGRAL DE TRIGO .....	37
2.3.1.	DEFINICIÓN .....	37
2.3.2.	COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	38
2.4.	LA CHÍA ( <i>Salvia Hispánica L.</i> ).....	39
2.4.1.	GENERALIDADES .....	39
2.4.2.	MORFOLOGÍA DE LA CHÍA .....	40
2.4.3.	REQUERIMIENTO CLIMÁTICO .....	42
2.4.4.	VALOR NUTRICIONAL .....	44

2.4.4.1.	Composición química de la semilla .....	44
2.4.4.2.	Ácidos grasos polinsaturados de la semilla de chía .....	45
2.4.4.3.	Proteínas y aminoácidos contenidos en la semilla de chía.....	46
2.4.4.4.	Vitaminas y minerales .....	47
2.4.4.5.	Fibra .....	49
2.5.	HARINA DE CHÍA DESGRASADA .....	52
2.5.1.	DEFINICIÓN .....	52
2.5.2.	VALOR NUTRICIONAL .....	52
2.5.2.1.	Composición proximal de la harina de chía .....	52
2.5.2.2.	Aminoácidos de la harina de chía desgrasada .....	54
2.5.2.3.	Contenido de vitaminas y elementos esenciales en semillas y harina desengrasada de chía. ....	54
2.5.2.4.	Antioxidantes .....	55
2.6.	PAN DE MOLDE .....	56
2.6.1.	DEFINICIÓN .....	56
2.6.2.	CLASIFICACIÓN DE UN PAN DE MOLDE .....	58
2.6.3.	MATERIAS PRIMAS E INSUMOS .....	58
2.6.3.1.	El agua.....	59
2.6.3.2.	La levadura .....	60
2.6.3.3.	La sal .....	62
2.6.3.4.	El azúcar .....	63
2.6.3.5.	Grasas .....	63
2.6.3.6.	ADITIVOS PARA EL PAN .....	64
2.6.4.	MÉTODOS DE ELABORACIÓN .....	66
2.6.4.1.	Método de masa directa.....	66
2.6.4.2.	Método de esponja .....	67
2.6.5.	PROCESO DE ELABORACIÓN .....	67

2.6.5.1.	Pesaje y medición.....	67
2.6.5.2.	Mezcla y amasado .....	67
2.6.5.3.	Fermentación.....	68
2.6.5.4.	División o corte .....	68
2.6.5.5.	Boleo o redondeo .....	69
2.6.5.6.	Moldeado.....	69
2.6.5.7.	Leudación (Fermentación final).....	69
2.6.5.8.	Brillado.....	69
2.6.5.9.	Horneado .....	70
2.6.5.10.	Enfriamiento y almacenamiento.....	70
2.7.	REOLOGÍA DE LAS HARINAS .....	70
2.7.1.	GRANULOMETRÍA .....	71
2.7.2.	FARINOGRAFÍA .....	71
2.7.3.	AMILOGRAFÍA .....	72
2.8.	EVALUACIÓN SENSORIAL .....	73
2.8.1.	DEFINICIÓN .....	73
2.8.2.	TIPOS DE PRUEBAS.....	74
2.8.2.1.	Pruebas Orientadas al Consumidor .....	74
2.8.2.2.	Pruebas Orientadas a los Productos .....	74
2.9.	VIDA ÚTIL .....	76
2.9.1.	DEFINICIÓN .....	76
2.9.2.	FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL	77
2.10.	PRUEBAS BIOLÓGICAS.....	82
2.10.1.	VALOR BIOLÓGICO (VB) .....	82
2.10.2.	DIGESTIBILIDAD APARENTE.....	83
2.10.3.	RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA (PER) .....	86

III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	87
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	87
3.2.	MATERIALES .....	87
3.2.1.	Materia prima .....	87
3.2.2.	Insumos.....	88
3.3.	EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y REACTIVOS .....	88
3.3.1.	Equipos e Instrumentos .....	88
3.3.2.	Reactivos .....	90
3.3.3.	Otros materiales.....	90
3.4.	MÉTODOS .....	91
3.4.1.	OBTENCIÓN DE LA HARINA DE CHÍA.....	91
3.4.2.	EVALUACIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LAS HARINAS.....	93
3.4.2.1.	Proteínas.....	93
3.4.2.2.	Humedad .....	93
3.4.2.3.	Cenizas .....	93
3.4.2.4.	Grasas .....	94
3.4.2.5.	Ácidos Grasos .....	94
3.4.2.6.	Fibra .....	94
3.4.2.7.	Carbohidratos .....	94
3.4.2.8.	Colorimetría .....	94
3.4.3.	FORMULACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA PAN DE MOLDE INTEGRAL.....	95
3.4.3.1.	Ingredientes del pan de molde.....	95
3.4.3.2.	Diseño de experimental.....	95
3.4.4.	ANÁLISIS REOLÓGICO.....	96
3.4.4.1.	Análisis Amilográfico .....	98
3.4.4.2.	Análisis Farinográfico .....	98



3.4.4.3.	Análisis Extensográfico.....	99
3.4.5.	CÓMPUTO QUÍMICO DE LAS FORMULACIONES .....	99
3.4.6.	PRODUCCIÓN DE PAN DE MOLDE INTEGRAL. ....	100
3.4.6.1.	Recepción .....	102
3.4.6.2.	Pesaje.....	102
3.4.6.3.	Amasado.....	103
3.4.6.4.	División o corte .....	103
3.4.6.5.	Boleo y reposo.....	104
3.4.6.6.	Moldeado.....	104
3.4.6.7.	Fermentación.....	105
3.4.6.8.	Horneado .....	105
3.4.6.9.	Enfriamiento.....	106
3.4.6.10.	Rebanado y embolsado.....	106
3.4.6.11.	Almacenado.....	107
3.4.7.	ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL PAN DE MOLDE .....	108
3.4.7.1.	Proteínas .....	108
3.4.7.2.	Humedad .....	108
3.4.7.3.	Cenizas .....	108
3.4.7.4.	Grasas .....	108
3.4.7.5.	Ácidos grasos por Cromatografía de gases .....	108
3.4.7.6.	Fibra .....	108
3.4.7.7.	Carbohidratos .....	109
3.4.8.	Análisis fisicoquímicos del pan de molde .....	109
3.4.8.1.	Volumen específico.....	109
3.4.8.2.	Textura .....	109
3.4.8.3.	Colorimetría de la corteza y miga .....	109
3.4.9.	ANÁLISIS SENSORIAL DEL PAN DE MOLDE.....	110

3.4.10.	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL PAN DE MOLDE	110
3.4.11.	EVALUACIÓN BIOLÓGICA .....	113
3.4.11.1.	Digestibilidad Aparente.....	113
3.4.11.2.	Valor biológico.....	114
3.4.11.3.	Relación de eficiencia proteica (PER) .....	115
3.4.11.	Procesamiento y análisis estadísticos de los datos.....	116
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	117
4.1.	OBTENCIÓN DE LA HARINA DE CHÍA .....	117
4.1.1.	HARINA DE CHÍA SIN DESGRASAR .....	117
4.1.2.	HARINA DE CHÍA DESGRASADA.....	117
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS .....	119
4.2.1.	EVALUACIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LAS HARINAS .....	119
4.2.1.1.	Harina de Trigo .....	119
4.2.1.2.	Harina de chía sin desgrasar.....	121
4.2.1.3.	Harina de chía desgrasada.....	123
4.2.2.	COLORIMETRÍA DE LAS HARINAS .....	126
4.2.3.	ANÁLISIS REOLÓGICO DE LAS HARINAS .....	128
4.2.3.1.	Amilografía .....	128
4.2.3.2.	Farinografía .....	134
4.2.3.3.	Extensografía.....	142
4.2.4.	CÓMPUTO QUÍMICO DE LAS FORMULACIONES (CQ).....	153
4.3.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE .....	156
4.3.1.	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL PAN DE MOLDE .....	156
4.3.1.1.	Volumen específico.....	156
4.3.1.2.	Textura .....	162
4.3.1.3.	Colorimetría .....	165

4.3.2.	ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL PAN DE MOLDE .....	175
4.3.2.1.	Humedad .....	177
4.3.2.2.	Ácidos Grasos .....	181
4.3.3.	EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PAN DE MOLDE.....	189
4.3.3.1.	Olor.....	193
4.3.3.2.	Color.....	198
4.3.3.3.	Sabor.....	202
4.3.3.4.	Textura .....	208
4.3.3.5.	Aceptabilidad General.....	212
4.3.4.	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL PAN DE MOLDE215	
4.3.4.1.	Determinación de la Vida Útil del pan de molde mediante Evaluación Organoléptica.....	215
4.3.4.2.	Determinación del Tiempo de Vida Útil del T1 (Control) mediante una Regresión Lineal .....	217
4.3.4.3.	Determinación del Tiempo de Vida Útil del T9, mediante una Regresión Lineal.....	218
4.3.4.4.	Determinación del Tiempo de Vida Útil del T3, mediante una Regresión Lineal.....	219
4.3.4.5.	Textura del pan de molde durante el tiempo de almacenamiento ...	221
4.3.4.6.	Volumen específico del pan de molde durante el tiempo de almacenamiento .....	223
4.3.4.7.	Humedad del pan de molde durante el tiempo de almacenamiento	224
4.3.5.	EVALUACIÓN BIOLÓGICA .....	229
V.	CONCLUSIONES .....	233
VI.	RECOMENDACIONES .....	235
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	236
VIII.	ANEXOS .....	247

ANEXO I: ANÁLISIS EN LAS HARINAS .....	247
ANEXO II: ANÁLISIS EN EL PAN DE MOLDE.....	261
ANEXO III: EVALUACIÓN BIOLÓGICA .....	268
ANEXO IV: EVALUACIÓN SENSORIAL.....	269
ANEXO VI: FOTOS DE EVALUACIÓN SENSORIAL.....	271

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación taxonómica del trigo .....	26
<b>Tabla 2</b> Composición química de las diferentes partes del grano de trigo (en % sobre 100g de materia seca). .....	31
<b>Tabla 3</b> Composición química de la harina de trigo por 100g de porción comestible. .	33
<b>Tabla 4</b> Clasificación del trigo con base en sus características generales de calidad y su uso industrial .....	37
<b>Tabla 5</b> Composición química de la harina de trigo integral por cada 100g de alimento. ....	38
<b>Tabla 6</b> Composición química de la chía por 100g de semilla .....	44
<b>Tabla 7</b> Ácidos grasos en la semilla de chía en g/Kg total de ácido graso. ....	45
<b>Tabla 8</b> Aminoácidos por 100g de semilla de chía.....	47
<b>Tabla 9</b> Contenido de vitaminas y minerales presentes en semillas de chía y en harina residual desgrasada en mg/100g.....	49
<b>Tabla 10</b> Composición proximal de las harinas integral triturada y desgrasada .....	53
<b>Tabla 11</b> Composición de aminoácidos de la harina desgrasada S. hispánica. ....	54
<b>Tabla 12</b> Criterios Físicoquímicos del pan de molde. ....	57
<b>Tabla 13</b> Formulación de pan de molde integral .....	95
<b>Tabla 14</b> Límites bajos y altos de las harinas .....	96
<b>Tabla 15</b> Diseño de mezclas establecida por el diseño de mezclas del programa STATGRAPHICs CENTURION XVI.....	96
<b>Tabla 16</b> Formulación de las harinas para los análisis reológicos (700 g).....	97
<b>Tabla 17</b> Formulación para la elaboración del pan de molde integral (3000g).....	100
<b>Tabla 18</b> Composición porcentual (%) de la harina de trigo y la harina integral.....	119
<b>Tabla 19</b> Análisis proximal de la Harina de chía sin desgrasar .....	122
<b>Tabla 20</b> Análisis proximal de la Harina de chía desgrasada .....	123
<b>Tabla 21</b> Análisis de colorimetría de las harinas.....	126
<b>Tabla 22</b> Resumen de los tratamientos analizados por el amilograma.....	128
<b>Tabla 23</b> Resumen de los tratamientos analizados por farinografía.....	134
<b>Tabla 24</b> Resumen de las formulaciones analizadas por extensografía.....	143
<b>Tabla 25</b> Composición química y perfil de aminoácidos de las diferentes harinas utilizadas en las formulaciones.....	154

<b>Tabla 26</b> Cómputo químico de los diferentes tratamientos enriquecidos con harina de chía desgrasada y sin desgrasar. ....	155
<b>Tabla 27</b> Volumen específico de todas las formulaciones del pan de molde .....	156
<b>Tabla 28</b> Análisis de varianza para volumen específico del pan de molde. ....	160
<b>Tabla 29</b> Textura de todas las formulaciones del pan de molde.....	162
<b>Tabla 30</b> Colorimetría de la miga del pan de molde.....	165
<b>Tabla 31</b> Colorimetría de la corteza del pan de molde .....	170
<b>Tabla 32</b> Composición química del pan de molde control y mejores tratamientos (T3 y T9) por 100g de porción comestible.....	175
<b>Tabla 33</b> Humedad de todas las formulaciones del pan de molde.....	177
<b>Tabla 34</b> Perfil de Ácidos Grasos de las harinas y el pan de molde (T3 y T9). ....	181
<b>Tabla 35</b> Perfil de Ácidos Grasos del pan de molde (T3 y T9). ....	184
<b>Tabla 36</b> Ácidos grasos poliinsaturados de la chía y del pan de molde (T3 y T9). ....	186
<b>Tabla 37</b> Ácidos grasos poliinsaturados del pan de molde (T3 y T9). ....	187
<b>Tabla 38</b> Valores medios de la evaluación sensorial de los panes adicionados con harina de chía desgrasada y sin desgrasar. ....	190
<b>Tabla 39</b> Análisis de Varianza para el Olor.....	195
<b>Tabla 40</b> Análisis de Varianza para el Color .....	199
<b>Tabla 41</b> Análisis de Varianza para el atributo de sabor .....	205
<b>Tabla 42</b> Análisis de Varianza para el atributo de textura.....	210
<b>Tabla 43</b> Análisis de Varianza para Aceptabilidad General.....	213
<b>Tabla 44</b> Valores Promedios de la Aceptabilidad General durante el tiempo de determinación de Vida Útil.....	216
<b>Tabla 45</b> Textura del pan de molde de mayor aceptabilidad (T3 y T8) durante 13 días de almacenamiento a T° ambiente.....	221
<b>Tabla 46</b> Volumen específico del pan de molde de mayor aceptabilidad (T3 y T8) durante 13 días de almacenamiento a T° ambiente. ....	223
<b>Tabla 47</b> Humedad (%) del pan de molde de mayor aceptabilidad (T3 Y T8) durante 13 días de almacenamiento a T° ambiente. ....	224
<b>Tabla 48</b> Resultados de la evaluación biológica del pan de molde enriquecido con chía (T3 y T9).....	229
<b>Tabla 49</b> Resumen de la determinación de la digestibilidad, valor biológico .....	230

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Partes del grano de trigo. ....	29
<b>Figura 2:</b> Estructura del grano de trigo.....	30
<b>Figura 3:</b> Planta y semilla de chía. ....	40
<b>Figura 4:</b> Diagrama para la obtención de la harina de chía desgrasada y sin desgrasar	92
<b>Figura 5:</b> Diagrama de la elaboración del pan de molde.....	101
<b>Figura 6:</b> Recepción de la materia prima e insumos .....	102
<b>Figura 7:</b> Pesado de la materia prima e insumos.....	102
<b>Figura 8:</b> Amasado de insumos. ....	103
<b>Figura 9:</b> Formación del punto de liga. ....	103
<b>Figura 10:</b> División de la masa.....	104
<b>Figura 11:</b> Boleado y reposo de la masa. ....	104
<b>Figura 12:</b> Moldeado de la masa. ....	105
<b>Figura 13:</b> Fermentación de la masa. ....	105
<b>Figura 14:</b> Horneado del pan de molde. ....	106
<b>Figura 15:</b> Horneado del pan de molde. ....	106
<b>Figura 16:</b> Rebanado y embolsado del pan de molde.....	107
<b>Figura 17:</b> Harina de chía sin desgrasar. ....	117
<b>Figura 18:</b> Obtención de la harina de chía desgrasada. (1: Recepción, 2: Pesado, 3: Selección, 4y5: Prensado, 6: Torta desgrasada, 7: Molienda y Tamizado, 8: Harina desgrasada de chía).....	118
<b>Figura 19:</b> Gráfica de características amilográfica.....	129
<b>Figura 20:</b> Amilografía del Tratamiento Control .....	131
<b>Figura 21:</b> Amilografía del Tratamiento T8.....	132
<b>Figura 22:</b> Amilografía del Tratamiento T9.....	133
<b>Figura 23:</b> Gráfica de series de tiempo de características farinográficas. ....	134
<b>Figura 24:</b> Farinografía del Tratamiento Control. ....	135
<b>Figura 25:</b> Farinografía del Tratamiento T8.....	136
<b>Figura 26:</b> Farinografía del Tratamiento T9.....	137
<b>Figura 27:</b> Efecto de la adición de harina desgrasada de chía en la resistencia (BU). 144	
<b>Figura 28:</b> Efecto de la adición de harina desgrasada de chía en la extensibilidad (mm). .....	144

<b>Figura 29:</b> Efecto de la adición de harina desgrasada de chía en el área (cm <sup>2</sup> ).....	145
<b>Figura 30:</b> Efecto de la adición de harina desgrasada de chía en la resistencia máxima (BU).....	145
<b>Figura 31:</b> Extensografía del Tratamiento Control .....	146
<b>Figura 32:</b> Extensografía del Tratamiento T8 .....	147
<b>Figura 33:</b> Extensografía del Tratamiento T9 .....	148
<b>Figura 34:</b> Gráfico de barras del volumen específico de pan de molde con sustitución parcial de chía desgrasada y sin desgrasar.....	157
<b>Figura 35:</b> Gráfico de caja y bigotes para el volumen específico del pan de molde...	161
<b>Figura 36:</b> Gráfico de barras para la textura de pan de molde con sustitución parcial de chía desgrasada y sin desgrasar. ....	163
<b>Figura 37:</b> Gráfico de barras de la colorimetría de la miga de los panes de molde enriquecidos con harina de chía desgrasada y sin desgrasar. ....	166
<b>Figura 38:</b> Gráfico de barras de colorimetría de la corteza de los panes de molde enriquecidos con chía desgrasada y sin desgrasar .....	171
<b>Figura 39:</b> Gráfica de barras de la composición química del pan de molde control y mejores tratamientos (T3 y T9). ....	176
<b>Figura 40:</b> Gráfico de barras de humedad (%) de los panes de molde enriquecidos con chía desgrasada y sin desgrasar. ....	178
<b>Figura 41:</b> Gráfico de barras del Perfil de Ácidos Grasos de las harinas y el pan de molde (T3 y T9).....	182
<b>Figura 42:</b> Ácidos graso palmítico y ácido graso oleico del pan de molde.....	184
<b>Figura 43:</b> Ácidos grasos poliinsaturados de la chía y del pan de molde (T3 y T9)...	186
<b>Figura 44:</b> Ácidos grasos poliinsaturados del pan de molde (T3 y T9). ....	188
<b>Figura 45:</b> Valores medios de la evaluación sensorial de los panes adicionados con harina de chía desgrasada y sin desgrasa para los diferentes tratamientos.....	191
<b>Figura 46:</b> Gráfico de barras para el atributo de Olor .....	193
<b>Figura 47:</b> Gráfico de cajas para el atributo de Olor .....	196
<b>Figura 48:</b> Tabla de Duncan para el atributo de Olor.....	197
<b>Figura 49:</b> Gráfico de barras para el atributo de Olor .....	198
<b>Figura 50:</b> Gráfico de cajas para el atributo de color .....	200
<b>Figura 51:</b> Tabla de Duncan para el atributo de Color.....	201
<b>Figura 52:</b> Gráfico de barras para el atributo de Sabor .....	202



<b>Figura 53:</b> Gráfico de cajas para el atributo de sabor.....	206
<b>Figura 54:</b> Tabla de Duncan para el atributo de sabor .....	207
<b>Figura 55:</b> Gráfico de barras para el atributo de Textura .....	209
<b>Figura 56:</b> Gráfico de cajas para el atributo de textura .....	210
<b>Figura 57:</b> Tabla de Duncan para el atributo de Textura.....	211
<b>Figura 58:</b> Gráfico de barras para la Aceptabilidad General.....	213
<b>Figura 59:</b> Gráfico de cajas para la Aceptabilidad General .....	214
<b>Figura 60:</b> Tabla de Duncan para la Aceptabilidad General .....	215
<b>Figura 61:</b> Gráfico de Control para la Vida Útil del T1.....	217
<b>Figura 62:</b> Gráfico de Control para la Vida Útil del T9.....	218
<b>Figura 63:</b> Gráfico de Control para la Vida Útil del T3 .....	219
<b>Figura 64:</b> Gráfico de barras para la Textura del pan de molde de mayor aceptabilidad (T3 y T9) durante 13 días de almacenamiento a temperatura ambiente.....	221
<b>Figura 65:</b> Gráfico de barras para el Volumen específico (T3 y T9) de pan de molde de mayor aceptabilidad durante 13 días de almacenamiento a T° ambiente.....	223
<b>Figura 66:</b> Variación del Porcentaje de humedad (T3 y T9) del pan de molde de mayor aceptabilidad durante 14 días de almacenamiento a T° ambiente. ....	225
<b>Figura 67:</b> Determinación de la humedad en las harinas .....	247
<b>Figura 68:</b> Determinación de cenizas en las harinas .....	248
<b>Figura 69:</b> Determinación de grasas en las harinas .....	249
<b>Figura 70:</b> Medición de colorimetría en las harinas.....	250
<b>Figura 71:</b> Evaluación amilográfica de las harinas .....	253
<b>Figura 72:</b> Evaluación farinográfica de las harinas.....	256
<b>Figura 73:</b> Evaluación extensográfica de las harinas. ....	260
<b>Figura 74:</b> Volumen específico del pan de molde.....	261
<b>Figura 75:</b> Análisis de textura para el pan de molde. ....	262
<b>Figura 76:</b> Destilación de las muestras (harina y pan integral). ....	266
<b>Figura 77:</b> Titulación de las muestras (harina y pan integral).....	266
<b>Figura 78:</b> Determinación de Fibra en el pan de molde. ....	267
<b>Figura 79:</b> Evaluación del Valor Biológico y Digestibilidad Aparente en las ratas. ..	268
<b>Figura 80:</b> Evaluación PER en las ratas. ....	268
<b>Figura 81:</b> Evaluación sensorial del pan de molde.....	271

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia en la calidad y aceptabilidad del pan de molde enriquecido con harina de chía desgrasada y sin desgrasar. Para determinar el mejor tratamiento, se realizó la sustitución parcial de harina de trigo por harina de chía desgrasada y sin desgrasar, en niveles de sustitución de 0%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15%, teniendo como referencia el Cómputo Químico y utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 x 6 con el programa estadístico Statgraphic XVI. Se evaluaron las características reológicas de las mezclas por amilografía, farinografía y extensografía. Los panes de molde se elaboraron utilizando el método directo y evaluando las características físicas, análisis químico proximal y los atributos sensoriales.

El análisis sensorial lo realizaron 30 panelistas y reveló la existencia de diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para los atributos de color, olor, textura, sabor y apariencia general, siendo los tratamientos T2, T3, T8 y T9 los más aceptados determinados mediante las tablas Duncan. Con los resultados del análisis sensorial se determinó la vida útil de los mejores tratamientos (T3 y T9) mediante una regresión lineal, teniendo el T9 el mayor tiempo de vida útil, 16 días, en comparación del T3 que obtuvo 10 días.

El incremento en el nivel de sustitución ocasionó el oscurecimiento en la miga, la reducción del volumen específico y el aumento de la textura. Por otro lado, se evaluó la modificación en el perfil de ácidos grasos de la muestra de los panes de molde con la mayor aceptabilidad después del horneado (T3 y T9), destacando una retención de 9.23 y 4.02 de ácido alfa linolénico  $\omega$ -3 respectivamente. Finalmente se realizó la evaluación biológica para los mejores tratamientos, se obtuvo valores de 1.22 (T9) y 1.01 (T3) para el valor de Eficiencia proteica PER, 72.39% (T9) y 72.29% (T3) para digestibilidad y 59.76% (T9) y 56.96% (T3) para el valor bilógico.

## ABSTRACT

The objective of the investigation was to evaluate the influence on the quality and acceptability of the mold bread enriched with defatted and non-defatted chia flour. The evaluation and influence on the quality and acceptability of the mold bread enriched with defatted and non-defatted chia flour. To determine the best treatment, partial substitution of wheat flour by defatted and non-defatted chia flour was carried out at substitution levels of 0%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15%, having as reference the Chemical Computation and using a completely randomized design with 2 x 6 factorial arrangement with Statgraphic XVI statistical program. The rheological characteristics of the mixtures were evaluated by amilography, pharynography and extensography. Mold breads were prepared using the direct method and evaluating physical characteristics, proximal chemical analysis and sensory attributes.

Sensory analysis was performed on 30 panelists and revealed significant differences ( $p < 0.05$ ) for attributes of color, smell, texture, taste and general appearance, being T2, T3, T8 and T9 the most accepted treatments determined by the Duncan tables. With the sensorial analysis results, the useful life of the best treatments (T3 and T9) was determined by a linear regression, having T9 the longest useful life, 16 days, compared to T3 that obtained 10 days.

The increasement in the substitution level caused the darkening in the crumb, the specific volume reduction and texture increased. On the other hand, the modification in the fatty acid profile of the sample of the mold loaves with the highest acceptability after baking (T3 and T9) was evaluated, highlighting a 9.23 and 4.02 retention of alpha-linolenic acid  $\omega$ -3 respectively. Finally, the biological evaluation was performed for the best treatments, it were obtained values of 1.22 (T9) and 1.01 (T3) for protein efficiency PER, 72.39% (T9) and 72.29% (T3) for digestibility and 59.76% (T9) and 56.96% (T3) for the biologic value.

## I. INTRODUCCIÓN

Como la mayoría de los productos de panificación, los panes de molde están hechos de harina de trigo floja, harina que no es muy alta en proteínas. Sin embargo, actualmente el tema de salud y de los productos nutritivos ha hecho crecer a la demanda de panes especiales. Además, el pan se presenta como una alternativa interesante de alimento, con potencial para convertirse en el vehículo de incorporación de estas nuevas fuentes nutricionales, a fin de mejorar el procesamiento y aumentar la calidad nutricional y nutracéutico pudiendo ser bien aceptados por el consumidor.

La chía (*Salvia Hispánica L.*) es una planta que crece en las tierras alto andinas. La Chía es una semilla oleaginosa, pero es distinta a las demás oleaginosas en su contenido graso: Los 2/3 del aceite de chía son ácidos grasos esenciales Omega-3 (Poli Insaturados), y solo el 10 % son ácidos grasos saturados. Además de su excelente contenido en Omega-3, la chía tiene también otros componentes muy interesantes para la nutrición humana: antioxidantes, fibra, proteínas, vitaminas B1, B2, B3, y minerales tales como fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, zinc y cobre. La semilla de chía es considerada suplemento dietético por la FDA.

Por ello se está haciendo el uso de mezclas de harinas que contribuyan al mejoramiento del nivel nutricional de un producto de panificación. Dentro de ese marco se toma el uso de la harina de chía desgrasada y sin desgrasar como sustituciones parciales de la harina de trigo para los productos de panificación. La chía (*Salvia Hispanica L.*) elimina la necesidad de utilizar antioxidantes artificiales como las vitaminas. De esta forma los antioxidantes de la harina de chía le otorgan una enorme ventaja sobre todas las demás fuentes de ácidos grasos omega 3, ya que permiten que pueda almacenarse por días, sin que se deteriore el sabor, el olor o el valor nutritivo. Las investigaciones recientes confirman las propiedades saludables de las semillas de chía destacan por su alto contenido en aceites saludables, pero es también una fuente de otros nutrientes de gran importancia para la salud

como antioxidantes, proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerales y fibra. Por eso, hoy en día, estas semillas son consumidas como complemento alimenticio en todo el mundo.

Lo explicado, ha servido para el diseño de un nuevo producto de panificación, con un nuevo sabor y aporte nutricional a la dieta diaria. Es así que el presente proyecto de investigación se titula, EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE ENRIQUECIDO CON HARINA DE CHÍA (Salvia Hispánica L.) DESGRASADA Y SIN DESGRASAR, tiene como objetivo principal evaluar el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de chía en las propiedades fisicoquímicas, nutritivas y organolépticas del pan de molde así como su determinación de vida útil y digestibilidad.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. EL TRIGO (*Triticum Vulgare*)

#### 2.1.1. GENERALIDADES DE TRIGO

La estructura del trigo y del resto de cereales es básicamente la misma en todos ellos. Son miembros de la familia de las gramíneas, las cuales producen frutos secos con una sola semilla (grano). A este tipo de frutos se les denomina en carióspside.

La carióspside está formada por una cubierta del fruto o pericarpio que envuelve y protege a la semilla y se adhiere profundamente a la cubierta de esta. La semilla está constituida por el embrión o germen y el endospermo, los cuales se hallan encerrados dentro de una epidermis nuclear sobre la cual se sitúa la cubierta de la semilla.

Los granos de trigo se desarrollan en el interior de las cubiertas florales, llamadas glumas y que son en realidad hojas modificadas. El trigo pertenece al grupo de los llamados cereales desnudos ya que el grano se desprende con facilidad de las glumas en la trilla pasando a formar parte de la paja. (Ramos, 2013)

#### 2.1.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

El trigo es una planta herbácea de la familia gramínea (*Poaceae*) y género *triticum*, las variedades más cultivadas *Triticum durum* y *Triticum compactum* (Infoagro, 2016); el trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Iraq. Las primeras formas de trigo recolectadas por el

hombre eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicocccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar. El trigo produjo más alimento al ser cultivado, este hecho provocó una auténtica revolución agrícola en el denominado creciente fértil.

La agricultura y la ganadería nacientes exigían un cuidado continuo, lo que generó una conciencia acerca del tiempo y las estaciones, obligando a estas pequeñas sociedades a guardar provisiones para las épocas menos generosas, teniendo en cuenta los beneficios que brinda el grano de trigo al facilitar su almacenamiento durante temporadas considerables.

**Tabla 1**  
*Clasificación taxonómica del trigo*

<b>Taxonomía del Trigo</b>	
Reino	Vegetal
Subreino	Fanerógamas
División	Cheteriodophita
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Monocotiledónea
Orden	Cereales
Familia	Gramínea
Género	Triticum
Especie	Vulgare
N. Científico	Triticum Vulgare
N. Común	Trigo

**Fuente:** Juárez et al., 2014.

### **2.1.3. ESTRUCTURA DEL GRANO DE TRIGO**

Como menciona Juárez et al., (2014) el grano de trigo presenta una estructura compleja, con forma alargada, una única semilla de 6 a 8 mm de largo y de 3 a 4 mm de ancho; y en la parte opuesta al embrión presenta una barbilla o pincel.

El tamaño de los granos varía ampliamente según la variedad y según la posición en la espiga. Los granos de trigo son redondeados en la parte dorsal (el mismo lado del germen) y poseen un surco a lo largo de la parte ventral (lado opuesto al germen). El surco, que abarca aproximadamente toda la longitud del grano, penetra casi hasta el centro.

Los dos carrillos pueden llegar a tocarse ocultando así la verdadera profundidad del surco. Este surco no solamente dificulta la separación del salvado del endospermo, sino que constituye un foco de contaminación de microorganismos y de polvo.

La textura y color de los granos de trigo, varía en gran medida. El color, generalmente blanco o rojo (aunque también puede ser púrpura), depende del pigmento de la cubierta de la semilla. La presencia y tipo de pigmentos es una función genética y por tanto puede ser objeto de manipulación por parte del seleccionador para conseguir el color deseado.

#### **2.1.3.1. Pericarpio**

Rodea toda la semilla y está constituido por varias capas. La parte más interna del pericarpio exterior está formado por restos de células de paredes delgadas, por lo que, al no presentar una estructura celular continua, constituye un



plano natural para la división. El pericarpio interior está formado por células intermedias, células cruzadas y células tubulares. El conjunto del pericarpio comprende el 5% del grano y aproximadamente está formado por un 6% de proteína, un 2% de cenizas, 20% de celulosa, 0,5% de grasa y el resto por pentosanas.

#### **2.1.3.2. Cubierta de la semilla o Testa.**

La cubierta de la semilla está unida firmemente a las células tubulares por su lado exterior y a la epidermis nucelar por el interior. Está compuesta por tres capas:

- Cutícula exterior gruesa
- Capa pigmentada
- Cutícula interior fina

#### **2.1.3.3. Capa de aleurona**

Tiene el espesor de una célula y rodea el grano por completo, incluyendo el endospermo feculento y el germen. Desde el punto de vista botánico, es la capa exterior del endospermo. Sin embargo, se elimina durante la molienda junto con la cubierta de la semilla y el pericarpio, constituyendo lo que se denomina salvado.

Las células de aleurona tienen paredes gruesas, su forma es cúbica y carecen de almidón.

La composición de las paredes celulares es fundamentalmente celulosa. La capa de aleurona es relativamente rica en proteínas, fósforo, lípidos y niacina. Además, la aleurona, es más rica en tiamina y riboflamina

que otras partes del salvado, y su actividad enzimática es alta.

#### 2.1.3.4. Germen

El germen de trigo abarca el 2,5-3,5% del grano. Está constituido por dos partes principales:

- El embrión, rico en vitaminas, minerales y lípidos.
- El escutelo, cubierta del embrión que lo envuelve y lo separa del resto del endospermo.

#### 2.1.3.5. Endospermo

Representa el mayor porcentaje de peso del grano, aproximadamente el 80%. Está recubierto por la capa de aleurona, rica en proteínas, grasas y cenizas. Constituido por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. (UNAM, 2013)

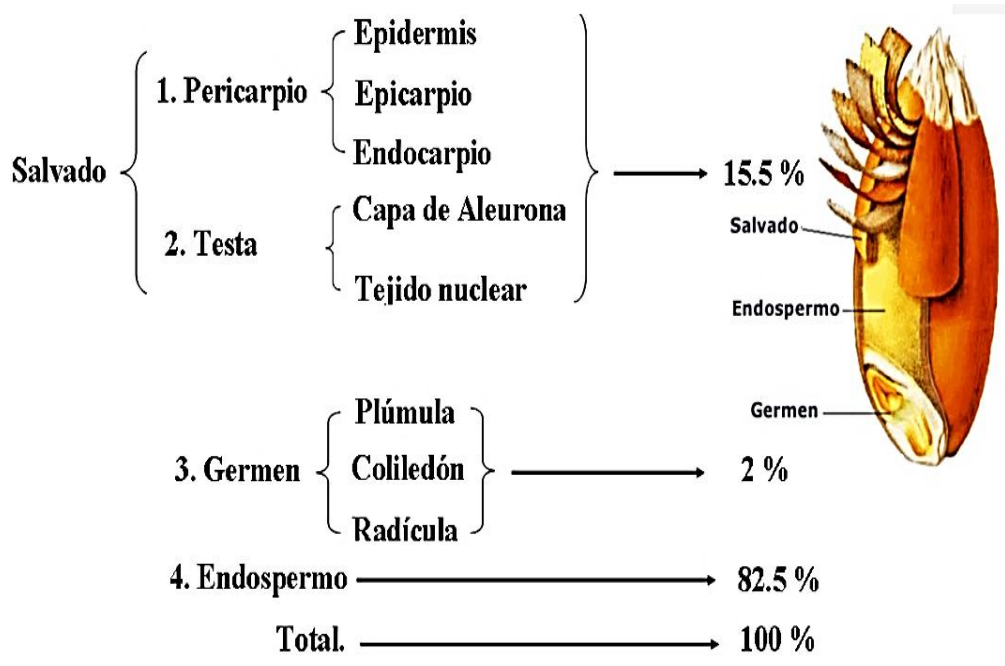
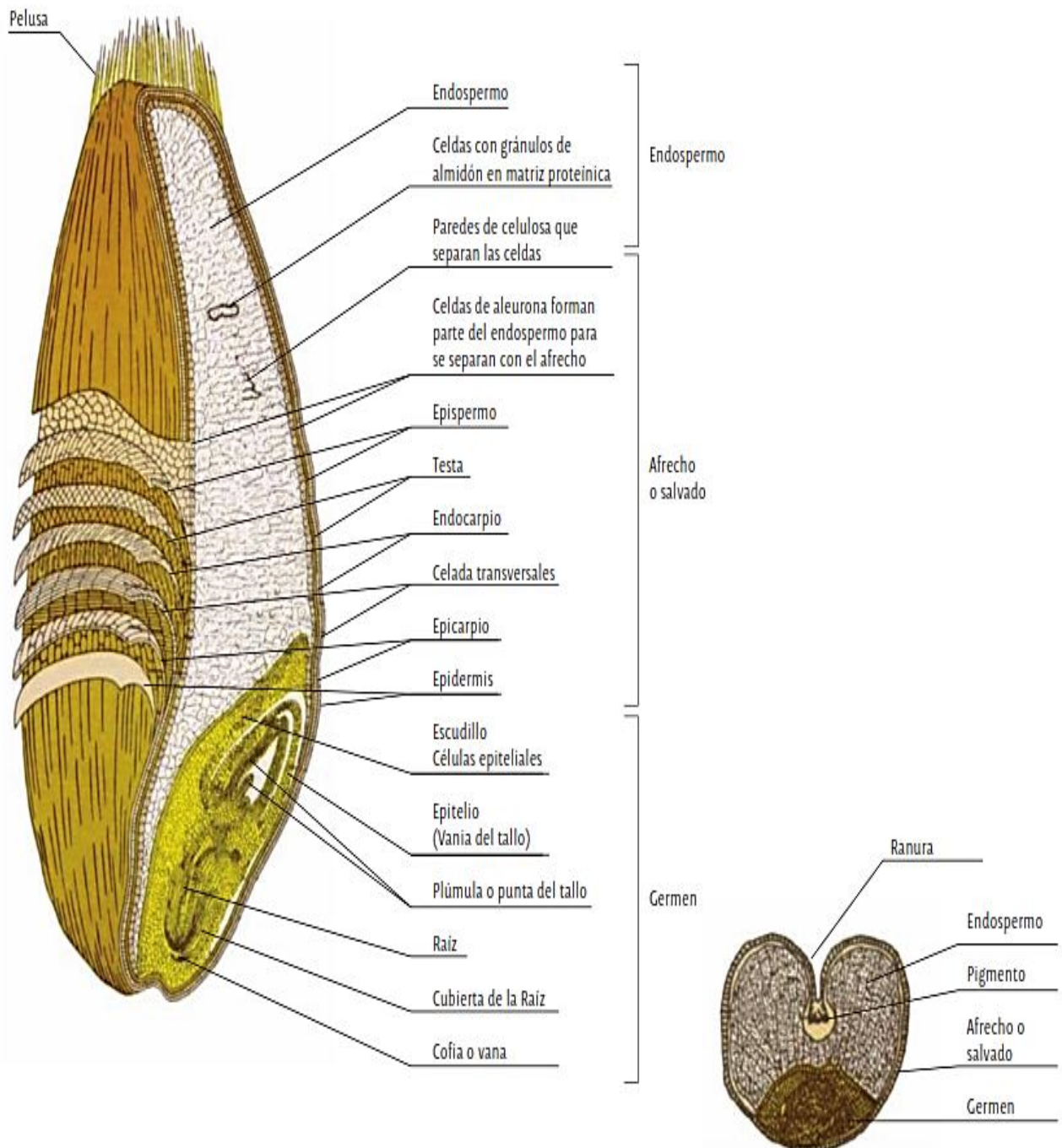


Figura 1: Partes del grano de trigo. (UNAM, 2013)



**Figura 2:** Estructura del grano de trigo. (Juárez et al., 2014)

#### 2.1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO

En la siguiente tabla, aparece reflejada la composición química de las diferentes partes del grano de trigo y del total de las mismas.

**Tabla 2**

*Composición química de las diferentes partes del grano de trigo (en % sobre 100g de materia seca).*

Parte del grano (% de la masa del grano)	Proteínas	Materias minerales	Lípidos	Celulosa	Hemicelulosas	Almidón
<b>Pericarpio (4%)</b>	7-8	3-5	1	25-30	35-43	0
<b>Tegumento seminal (1%)</b>	15-20	10-15	3-5	30-35	25-30	0
<b>Epidermis nucelar envuelta proteica (7-9%)</b>	30-35	6-15	7-8	6	30-35	10
<b>Germen (3%)</b>	35-40	5-6	15	1	20	20
<b>Endospermo (82-85%)</b>	8-13	0,35-0,60	1	0,3	0,5-3,0	70-85
<b>GRANO ENTERO (100%)</b>	10-14	1,6-2,1	1,5-2,5	2-3	5-8	60-70

*Fuente: Juárez et al., 2014*

Como puede apreciarse, materias celulósicas y hemicelulosas están casi ausentes en la parte central del endospermo, mientras que el almidón no aparece en los tejidos externos. Las proteínas se encuentran en elevada proporción en la zona comprendida entre el tegumento seminal y la capa de aleurona. El contenido en lípidos es elevado en el germen (15%) y un poco más débil en las cubiertas externas de la semilla (7-8%) Las vitaminas en baja proporción, se encuentran principalmente en la zona situada entre el tegumento seminal y el germen.

## **2.2. HARINA DE TRIGO**

### **2.2.1. DEFINICIÓN**

Según la Legislación peruana, harina es el producto resultante de la molienda del grano de trigo (*Triticum aestivum L.*) con o sin separación parcial de la cáscara. La designación “harina” es exclusiva del producto obtenido de la molienda de trigo. A los productos obtenidos de la molienda de otros granos (cereales y menestras), tubérculos y raíces le corresponde la denominación de “harina” seguida del nombre del vegetal de que provienen. A este tipo de harinas se les denomina sucedáneas según la norma peruana ITINTEC ,2015.

La harina de trigo es la materia prima esencial en el completo sentido de la palabra: formadora de la masa para la elaboración de productos panificables. La harina de trigo tiene gluten que se forma por hidratación e hinchamiento de proteínas de la harina: gliadina y glutenina.

El hinchamiento del gluten posibilita la formación de la masa: unión, elasticidad y capacidad para ser trabajada, retención de gases y mantenimiento de la forma de las piezas.

La cantidad de proteína es muy diferente en diversos tipos de harina. Especial influencia sobre el contenido de proteínas y con ello sobre la cantidad de gluten tiene el tipo de trigo, época de cosecha y grado de extracción.

A las harinas que contienen menos proteína – gluten se las llama pobres en gluten, en cambio, ricas en gluten son aquellas cuyo contenido de gluten húmedo es superior al 30 %. Harinas ricas en gluten se prefieren para masas de levadura, especialmente las utilizadas en la elaboración de masas para hojaldre. Para masas secas, en cambio, es inconveniente un gluten tenaz y formador de masa.

## 2.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de la harina de trigo depende del grado de extracción, pero mayormente el porcentaje de proteínas fluctúan entre 8 y 11%, grasa 1 y 2%, carbohidratos 71%, cenizas entre 0,5% y 0,6%, fibra 3% y la humedad está en un rango de 13% al 15% (Ventura, 2013 ).

**Tabla 3**

*Composición química de la harina de trigo por 100g de porción comestible.*

Componente	Unidad	Cantidad
Agua	g	10.8
Proteínas	g	10.5
Grasa	g	2.0
Carbohidratos	g	76.3
Fibra	g	1.5
Cenizas	g	0.4

*Fuente: Tablas Peruanas De Composición de Alimentos, 2009.*

## 2.2.3. PRINCIPALES COMPONENTES DE LA HARINA

### A. Carbohidratos: Almidón

Es el componente principal de la harina. Es un polisacárido de glucosa, insoluble en agua fría, pero aumentando la temperatura experimenta un ligero hinchamiento de sus granos. El almidón está constituido por dos tipos de cadena:

- Amilosa: polímero de cadena lineal.
- Amilopectina: polímero de cadena ramificada.

Junto con el almidón, vamos a encontrar unas enzimas que van a degradar un 10% del almidón hasta azúcares simples, son la alfa y la beta amilasa. Estas enzimas van a degradar el almidón hasta dextrina, maltosa y glucosa que servirá de alimento a las levaduras durante la fermentación.

## **B. Proteínas: Gluten**

La cantidad de proteínas varía mucho según el tipo de trigo, la época de recolección y la tasa de extracción.

El gluten es un complejo de proteínas insolubles en agua, que le confiere a la harina de trigo la cualidad de ser panificable. Está formado por:

- Glutenina, proteína encargada de la fuerza o tenacidad de la masa.
- Gliadina, proteína responsable de la elasticidad de la masa.

La cantidad de gluten presente en una harina es lo que determina que la harina sea "fuerte" o "floja".

La harina fuerte es rica en gluten, tiene la capacidad de retener mucha agua, dando masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios.

La harina floja es pobre en gluten, absorbe poca agua, forma masas flojas y con tendencia a fluir durante la fermentación, dando panes bajos y de textura deficiente. No son aptas para fabricar pan pero si galletas u otros productos de repostería.

### **C. Grasas**

Las grasas de la harina proceden de los residuos de las envolturas y de partículas del germen. El contenido de grasas depende por tanto del grado de extracción de la harina. Mientras mayor sea su contenido en grasa más fácilmente se enranciará.

### **D. Humedad**

La humedad de una harina, según el Centro Nacional de Control de Calidad del Perú, 2013. Nos señala que no puede sobrepasar el 15%, es decir que 100 kilos de harina pueden contener, como máximo, 15 litros de agua. Naturalmente la harina puede estar más seca.

### **E. Minerales: Cenizas**

Casi todos los países han clasificado sus harinas según la materia mineral que contienen, determinando el contenido máximo de cenizas para cada tipo.

Las cenizas están formadas principalmente por calcio, magnesio, sodio, potasio, etc., procedentes de la parte externa del grano, que se incorporan a la harina según su tasa de extracción (Rubén, 2013).

## **2.2.4. CLASIFICACIÓN DE LA HARINA DE TRIGO**

Del mismo modo Oscar (2013) clasifica comercialmente las harinas en varios grupos, los más importantes son:

- **Harina Fuerza:** Es la harina que contiene un elevado contenido de gluten, hecho que facilita que la masa pueda fermentar y retener el gas generado es una especie de burbujas. Debe proceder de trigos especiales o duros. Debido a que la harina



puede absorber más cantidad de agua, da como resultado un pan más tierno y que aguanta más tiempo sin secarse.

- **Harina Floja:** Se utiliza para preparar aquellas elaboraciones de pastelería y repostería que no se deben trabajarse excesivamente para evitar que tomen correa. Si se elabora un pan esta harina presenta problemas en la fermentación, la masa no esponja tanto, hace que quede más apelmazado, y tiende a secarse rápidamente.
- **Harinas acondicionadas y enriquecidas:** Las harinas no siempre reúnen las condiciones óptimas para poder proporcionar un buen resultado en las elaboraciones de pastelería que deban prepararse utilizando tecnología moderna.

En estas ocasiones se le añaden ciertos productos (aditivos) con objeto de mejorar el nivel de plasticidad de la masa obtenida y sus características organolépticas de sabor, aroma y color, así como reducir el tiempo de fermentación. En el caso de harinas enriquecidas únicamente se aumentan el número de nutrientes, por ejemplo las proteínas.

Las harinas, según sus tipos, se clasifican en: cero (0), dos ceros (00), tres ceros (000), y cuatro ceros (0000). La harina 000 corresponde a la harina de trigo, que se utiliza siempre en la elaboración de panes, ya que su alto contenido de proteínas posibilita la formación de gluten. Por su parte la harina 0000 es más refinada y más blanca, al tener escasa formación de gluten. Sólo se utiliza en panes de molde y en pastelería. (Boccio et al., 2014)

**Tabla 4**

*Clasificación del trigo con base en sus características generales de calidad y su uso industrial*

<b>Grupo de calidad</b>	<b>Fuerza del gluten</b>	<b>Uso Industrial</b>	<b>Observaciones</b>
Grupo 1 (F)	Fuerte/extensible	- Panificación mecanizada - Mejorador de trigos de menor fuerza de gluten	Endospermo duro a semi-duro
Grupo 2 (M)	Medio/extensible	- Panificación manual y semi-mecanizada	Endospermo duro a semi-duro
Grupo 3 (S)	Débil/extensible	- Galletería y repostería - Panificación artesanal	Endospermo suave (blando)
Grupo 4 (T)	Medio/tenaz	- Algunos productos de repostería	Endospermo duro a semi-duro. ( No panificable)
Grupo 5 (C)	Fuerte/tenaz	- Elaboración de pastas alimenticias (espagueti, etc.)	Endospermo muy duro a cristalino (no panificable)

**Fuente:** Oscar (2013)

## **2.3. HARINA INTEGRAL DE TRIGO**

### **2.3.1. DEFINICIÓN**

La Harina Integral de Trigo se fabrica a partir del grano entero de trigo, el cual no tiene el proceso de refinación de la harina común blanca. Conserva toda la cáscara del grano, lo cual le hace contener un importante aporte de fibra. (CANIMOLT, 2015). Por este gran aporte en fibra, es un alimento considerado como “Buena Fuente de Fibra”, lo que conlleva a un menor riesgo de

padecer enfermedades cardiovasculares; ayudar al control de niveles de colesterol; prevenir y combatir el estreñimiento y la pereza intestinal; y, dar sensación de saciedad, lo que ayuda en dietas para control de peso.

### 2.3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las proporciones de los nutrientes de la harina integral de trigo pueden variar según el tipo y la cantidad del alimento, además de otros factores que puedan intervenir en la modificación de sus nutrientes.

**Tabla 5**

*Composición química de la harina de trigo integral por cada 100g de alimento.*

Componente	Unidad	Cantidad
Energía	Kcal	366
Grasa	g	2,0
Agua	g	10,80
Carbohidratos	g	72,6
Fibra	g	2,3
Proteínas	g	12,9
Ceniza	g	1,7
Calcio	mg	38
Hierro	mg	3,90
Vitamina B3	mg	8,20
Sodio	mg	3

*Fuente: Tabla de composición de alimentos industrializados (2002)*

## 2.4. LA CHÍA (*Salvia Hispánica L.*)

### 2.4.1. GENERALIDADES

La chía es una especie que pertenece a la familia de la *Labiatae* y en la actualidad se ha convertido en fuente de gran interés gracias a su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, en especial el linolénico (C18:3 n-3), de mayor abundancia en la semilla de chía, se ha caracterizado por sus grandes efectos nutricionales. Debido a la composición que presenta la semilla de chía, ha sido posible que tanto la semilla como los subproductos derivados de ella (aceite, harina, aceite microencapsulado) puedan ser incorporados a diferentes matrices alimentarias como panificación, bebidas, cereales, mezclas secas, entre otras, para dar un valor agregado. (Ixtaina et al, 2012).

En los últimos años, se ha conocido la importancia del consumo de ácidos grasos esenciales como el Ácido Alfa Linolénico (ALA), el cual es un ácido graso Omega-3 y al estar en un balance adecuado con el Omega-6 puede ayudar a reducir el riesgo de algunas enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y enfermedades degenerativas, como el párkinson y el alzhéimer.

La mayoría de las semillas tiene un contenido alto de ácidos grasos esenciales, siendo el Omega-6 el que se encuentra en una mayor proporción, lo cual desfavorece el equilibrio entre Omega-3 y Omega-6. La principal fuente de Omega-3 se encuentra en algunos animales marinos como el salmón y la sardina, pero también en algunas semillas como la linaza y la chía (*salvia hispánica, L.*), fuentes vegetales con alto contenido de Omega-3. La chía es una semilla originaria de Centroamérica y México, que se ha caracterizado por ser la fuente vegetal con mayor contenido de ácido graso Omega-3, además de ser una fuente rica en

compuestos con capacidad antioxidante, tener un alto contenido de fibra y un bajo índice glucémico.



*Figura 3: Planta y semilla de chía. (Guiotto et al., 2011)*

#### 2.4.2. MORFOLOGÍA DE LA CHÍA

Su planta tiene una altura entre un 1,0 y 1,5 metros, y sus tallos son ramificados, de sección cuadrangular con pubescencias cortas y blancas. Las hojas opuestas con bordes aserrados miden de 80 a 100 cm de longitud, y 40 a 60 mm de ancho. Sus flores de color azul intenso o blancas se producen en espigas terminales, esta descripción morfológica. Las semillas son ovales, suaves, brillantes y miden entre 1,5 y 2,0 mm de longitud. Según la variedad, su color puede ser blanco o negro grisáceo con manchas irregulares que tienden a un color rojo oscuro. (Guiotto et al., 2011)

- ✓ **El Tallo:** es subterráneo y de un tamaño reducido, pudiendo alcanzar aproximadamente unos 5 cm de largo. Se presenta en forma de un disco más o menos cónico, acaulescente, es decir el tallo no es conspicuo, siendo notorio cuando es cortado longitudinalmente. A nivel donde nacen las hojas se puede

distinguir el tallo en forma de un cono invertido similar a un matraz.

- ✓ **Las Hojas:** Son pinnadas bipinnadas, siendo las caulinares algo reducidas, alternas, esparcidas. En cambio las hojas de la base presentan el limbo doblemente partido.

Las hojas se presentan arrosetadas y esparcidas al ras del suelo, lo cual les permite soportar los duros golpes ocasionados por los cambios de temperatura, desde el intenso frío de las heladas nocturnas, a la insolación quemante del medio día.

Las hojas llegan a medir de 6 a 9cm. Cuando alcanzan su madurez fisiológica. Cuando la planta llega a cierta madurez, las hojas que se encuentran en la parte extrema del follaje arrosetado, se enrollan, secan y caen, mientras que las hojas interiores están verdes y erguidas. Del centro de este follaje arrosetado salen varios péndulos.

- ✓ **La Flor:** las flores de la maca son axilares, hermafroditas, actinomorfas, de color verde no vistosas, aproximadamente miden 3mm de largo por 2mm de diámetro. El cáliz es imbricado con 4 sépalos libres de color verde claro, con márgenes blanquecinos.

La corola presenta 4 pétalos libres ligeramente encorvados hacia el ápice. La corola presenta 4 pétalos libres ligeramente encorvados hacia el ápice. El androceo tiene seis estambres tetradínamos, siendo dos de ellos fértiles con granos de polen más o menos aovados de color amarillo los cuatro estambres restantes son estériles y pequeños dispuestos a los lados de los fértiles. El gineceo es sincárpico, con ovario supero, bicarpelar y bilocular.

La inflorescencia es un racimo compuesto y raramente simple de 16cm de longitud, siendo la inflorescencia bracteada, que también es pinnatipartidas, cuyos ejes también tienen de 5 a 8cm de longitud.

- ✓ **La raíz:** La raíz de la maca que se deriva del hipocótilo, es tuberosa, de forma globosa, redondeada, presenta en su extremo interior una prolongación no tuberosa, es decir que se introduce rectamente en el suelo, presentado a todo a su largo ramificaciones secundarias delgadas.

El color de la parte tuberosa es amarillento claro, en algunos ecotipos es de color morado o casi negro o rosado pardusco, estos tres tipos son diferenciados por los campesinos, quienes prefieren el primero.

El tamaño de esta parte carnosa es variado pudiendo alcanzar de 5 a 6 cm, de diámetro transversal y diámetro longitudinal de 4 a 7 cm, de longitud.

La parte superior termina en una superficie plana de donde brotan las hojas, la inferior que se halla a continuación de la parte que se acaba de indicar, es cónica y se alarga alcanzando hasta 30cm aproximadamente, adelgazándose paulatinamente hacia el ápice terminal.

### **2.4.3. REQUERIMIENTO CLIMÁTICO**

La chía es un cultivo que crece en condiciones tropicales y subtropicales y no es tolerante a las heladas. En cuanto a las condiciones edáficas en las que se desarrolla, puede decirse que favorecen su

crecimiento la disponibilidad de una amplia variedad de niveles de nutrientes y humedad, esta última sobre todo para la germinación. Sin embargo, un bajo contenido de nitrógeno puede ser un factor limitante para obtener buenos rendimientos. (Ixtaina et al, 2012)

Una vez establecida, la plántula se comporta bien con cantidades limitantes de agua. Por otro lado, los suelos donde mejor se desarrolla la planta son los arenosos-limosos, aunque también puede crecer en suelos arcillosos-limosos de buen drenaje.

El cultivo es sensible a la duración del día (es una especie de días cortos) y su periodo de crecimiento y fructificación dependerá de la latitud donde se implante. Los primeros 45 días son críticos porque la chíá crece muy despacio durante el periodo y las melazas, principalmente las latifoliadas pueden competir con ella por luz y nutrientes.

- **Temperaturas:** Soporta temperaturas nocturnas de 18°C y 22°C en días de fuerte sol. Resiste bien las condiciones extremas.
- **Suelo:** Es un cultivo exigente en la calidad de los suelos, estos deben ser de franco a franco arenoso-limoso. No se recomendara los suelos arcillosos e inundables.
- **Altitud:** En general se indica que la maca es el único cultivo que prospera satisfactoriamente en altitudes de 4100 a 4150 msnm. Sin embargo este rango puede ser ampliado a pisos menores como el de 3300 metros de altitud, obteniéndose productos de menor calidad muy fibrosos, con la zona cortical cilíndrica, corchosa de mayor volumen, dejando la porción pulposa en menor porcentaje.



## 2.4.4. VALOR NUTRICIONAL

### 2.4.4.1. Composición química de la semilla

Si bien la moderna investigación de la chía se basa en su gran aporte de ácidos grasos esenciales, estas pequeñas semillas deben ser consideradas como excelentes integradores alimentarios, por su riqueza.

La Chía es una semilla oleaginosa, pero es distinta a las demás oleaginosas en su contenido graso: Los 2/3 del aceite de Chía son ácidos grasos esenciales Omega-3 (Poli Insaturados), y solo el 10 % son ácidos grasos saturados. Además de su excelente contenido en Omega-3, la chía tiene también otros componentes muy interesantes para la nutrición humana: antioxidantes, fibra, proteínas, vitaminas B1, B2, B3, y minerales tales como fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, zinc y cobre. La semilla de chía es considerada suplemento dietético por la FDA. Además, completa los exigentes cánones de contenido de nutrientes alimenticios establecidas por esta organización para ser un alimento saludable. (Sandoval, 2012)

**Tabla 6**

*Composición química de la chía por 100g de semilla.*

<b>COMPONENTES</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Energía</b>	Kcal	550
<b>Proteínas</b>	g	19.3
<b>Grasas</b>	g	29.8
<b>Carbohidratos</b>	g	40.34
<b>Fibra</b>	g	19.9
<b>Cenizas</b>	g	5.24

*Fuente: Alvarado, 2011.*

#### 2.4.4.2. Ácidos grasos polinsaturados de la semilla de chía

La semilla de chía contiene entre un 0,25 y 0,38 g<sub>aceite</sub>/g<sub>semilla</sub>, donde los mayores constituyentes son los triglicéridos, en el que los ácidos grasos poli-insaturados están presentes en altas concentraciones (Ixtaina et al., 2012). Algunos autores han descrito el contenido de ácidos grasos poliinsaturados presentes en la semilla de chía. En la tabla 7 se describen los contenidos de los algunos ácidos grasos reportados.

Según el contenido de ácidos grasos reportados existe una alta coherencia entre los rangos tanto para los ácidos grasos saturados como los insaturados. Entre los ácidos grasos saturados se destaca que el ácido palmítico C16:0 se encuentra en una relación 2:1 con el ácido esteárico, C18:0, respectivamente.

**Tabla 7**

*Ácidos grasos en la semilla de chía en g/Kg total de ácido graso.*

Ácido graso según el tamaño de la cadena e insaturaciones	(Peiretti y Gai, 2009)	(Ayerza,2010)	(Coates y Ayerza, 2002)	(Heuer, Yaniv, y Ravina, 2002)	(R. Ayerza, Wayne Coates, 2004)
<b>C16:0</b>	71 ± 0,64	62 – 71	64 – 79	76 - 8	66 – 77
<b>C18:0</b>	33 ± 0,41	31 – 37	24 – 32	26 - 30	27 – 36
<b>C18:1 n – 9</b>	60 ± 0,48	73 – 82	60 – 66	61 - 63	68 – 133
<b>C18:2 n – 6</b>	188 ± 0,25	198 – 208	170 - 201	174 - 187	180 – 211
<b>C18:3 n – 3</b>	641 ± 0,87	607 – 634	632 - 678	635 - 651	542 – 642
<b>P/S* 77</b>	7.9 ± 0,66	7,6 - 8,8	7,7 - 9,3	7,3 - 7,8	6,7 - 8,7
<b>n-6 / n-3</b>	0,29 ± 0	0,31 - 0,33	0,25 - 0,32	0,27 - 0,29	0,29 - 0,38

\* Poli-insaturado/Saturado

Los resultados reportados de los ácidos grasos insaturados se dan principalmente en tres: ácido linolénico (C18:3n- 3), ácido linoleico (C18:2n- 6) y ácido erúcico (C18:1n- 9), siendo el linolénico el de mayor abundancia en la semilla de chía, el cual representa una importancia nutricional destacable porque éste participa como precursor de otros ácidos grasos esenciales y además da origen a ciertas prostaglandinas, Leucotrienos y Tromboxano con actividad antiinflamatoria, anticoagulante y antiagregante. (Ixtaina et al, 2012).

#### **2.4.4.3. Proteínas y aminoácidos contenidos en la semilla de chía.**

La chía contiene aproximadamente un 20% de proteína, nivel que resulta más alto que el que contiene algunos cereales tradicionales como el trigo (13,7%), el maíz (9,4%), el arroz (6,5%), la avena (16,9%) y la cebada (12,5%). Las semillas de chía además de tener un alto contenido de proteínas se han hecho interesantes comparada con otras semillas como el trigo, la avena, la cebada y el centeno por no tener gluten (Ayerza, 2011).

Si se hace un análisis del contenido de sus aminoácidos, se puede encontrar que el aporte de lisina es relativamente alto y la cisteína y metionina se pueden comparar favorablemente con otras semillas oleaginosas. Los aminoácidos de la chía no tienen factores limitantes en una dieta para adultos, lo cual significa que ésta puede ser incorporada en la dieta humana y ser mezclada con otros granos, a fin de producir una fuente equilibrada en proteínas (Sandoval, 2012).

**Tabla 8**  
*Aminoácidos por 100g de semilla de chía.*

<b>Aminoácido</b>	<b>Unidad</b>	<b>Extracción por solvente</b>
Ácido aspártico	g	7,64
Treonina	g	3,43
Serina	g	4,86
Ácido glutámico	g	12,4
Glicina	g	4,22
Alanina	g	4,31
Valina	g	5,10
Cisteína	g	1,47
Metionina	g	0,36
Isoleucina	g	3,21
Leucina	g	5,89
Triptófano	g	---
Tirosina	g	2,75
Fenilalanina	g	4,73
Lisina	g	4,44
Histidina	g	2,57
Arginina	g	8,9
Prolina	g	4,4

*Fuente: Ayerza, 2011.*

#### **2.4.4.4. Vitaminas y minerales**

La semilla de chía se ha caracterizado por ser una buena fuente de vitaminas y minerales del complejo B como la Niacina, tiamina y ácido fólico, así como Vitamina A. Además, la semilla de chía es una fuente excelente de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc y cobre, como

se muestra en Tabla 9. Otra de las grandes ventajas de esta semilla es su bajo contenido en sodio.

Los niveles de hierro encontrados en las semillas de chía y en la harina remanente después de extraer el aceite son muy elevados y representan una cantidad inusual para la semilla. (Sandoval, 2012).

Las vitaminas son compuestos heterogéneos imprescindibles para la vida, que al ingerirlos de forma equilibrada y en dosis esenciales promueven el correcto funcionamiento fisiológico. La mayoría de las vitaminas esenciales no pueden ser sintetizadas (elaboradas) por el organismo, por lo que éste no puede obtenerlas más que a través de la ingesta equilibrada de vitaminas contenidas en alimentos naturales.

Los minerales son, por lo menos, tan importantes como las vitaminas para lograr el mantenimiento del cuerpo en perfecto estado de salud. Pero, como el organismo no puede fabricarlos, debe utilizar las fuentes exteriores de los mismos, como son los alimentos, los suplementos nutritivos, la respiración y la absorción a través de la piel, para poder asegurar un adecuado suministro de ellos.

**Tabla 9**

*Contenido de vitaminas y minerales presentes en semillas de chía y en harina residual desgrasada en mg/100g.*

Nutriente	Semilla de chía	
	Entera	Harina desgrasada
<b>Microelementos (mg)</b>		
Calcio	714	1180
Potasio	700	1100
Magnesio	390	500
Fósforo	1067	1170
<b>Microelementos(mg)</b>		
Aluminio	2	4.3
Boro	-	1.4
Cobre	0.2	2.6
Hierro	16.4	20.4
Manganeso	2.3	6.8
Molibdeno	0.2	-
Sodio	-	2.9
Zinc	3.7	8.5
<b>Vitaminas(mg)</b>		
Niacina	6.13	11.3
Tiamina	0.18	0.79
Riboflavina	0.04	0.46
Vitamina A	44 IU	-

*Fuente: Muller, 2015.*

#### **2.4.4.5. Fibra**

La fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La FD incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de las plantas. La FD promueve efectos fisiológicos beneficiosos como laxante y/o atenúa los niveles de colesterol y/o glucosa en sangre. (Muller, 2015)

La fibra está compuesta mayormente por carbohidratos complejos y lignina, es recomendable una ingesta diaria entre 20 a 35 gramos de fibra. En el estómago, las fibras solubles enlentecen el vaciado gástrico gracias a una propiedad de viscosidad y al aumentar la distensión del estómago, prolongando así la sensación de saciedad. Asimismo la fibra aumenta la retención de agua en el cuerpo y la biomasa bacteriana en el intestino delgado.

El análisis comparativo del contenido de fibra de las semillas de chía (18-30%) respecto al de otros cereales, permite apreciar que la chía tiene 1,6%; 2,3%; 2,6%; 8,3% y 9,8% veces más contenido de fibra dietética que la cebada, trigo, avena, maíz y arroz, respectivamente. El contenido de fibra en la harina residual de chía -luego de la extracción de aceite- representa alrededor de un 40%, del cual un 5% corresponde a fibra soluble, denominada mucílago.

La fibra dietética puede clasificarse como soluble e insoluble de acuerdo a su comportamiento en medio acuoso:

✓ **Fibra dietética soluble (FDS)**

La fibra soluble en contacto con agua forma un retículo donde ésta queda atrapada, dando lugar a soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte de su potencial anticarcinogénico. Dada la capacidad de la FDS de formar geles, tiene la propiedad de retardar la evacuación gástrica, lo que a su vez hace más eficiente la digestión y absorción de los alimentos, generando una mayor sensación de saciedad.

Dentro de este grupo se encuentran gomas, mucílagos, algunas pectinas, ciertos tipos de hemicelulosas y polisacáridos solubles.

✓ **Fibra dietética insoluble (FDI)**

Las fibras insolubles son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad, lo cual produce un aumento del volumen de la masa fecal, acelerando el tránsito intestinal. Estas fibras incluyen celulosa, lignina y algunas fracciones de hemicelulosa.

Por otra parte, existe una gran variedad de componentes no convencionales asociados a la fibra dietética, los cuales por su baja digestibilidad pueden contribuir con propiedades semejantes. En este sentido, su inclusión dentro de la fibra es motivo de controversia, tal es el caso de los taninos, ceras, glicoproteínas, minerales, compuestos de Maillard, quitina y formas provenientes del metabolismo digestivo del hombre (polidextrosas).

La naturaleza química de la FD varía entre las diferentes capas de una semilla. Generalmente, en los cereales las capas externas son ricas en FDI mientras que la fracción de FDS es mayor cerca del endospermo. Por lo tanto, los procesos de molienda pueden ser modulados para obtener fracciones ricas en FD y también para incrementar la relación de FDS/FDI.



## **2.5. HARINA DE CHÍA DESGRASADA**

### **2.5.1. DEFINICIÓN**

El proceso de extracción de la harina comprende un segundo paso de la extracción del aceite, ya sea por prensado, solvente o fluidos supercríticos es de aquí que la importancia, como lo menciona en la extracción del aceite (Ixtaina et al., 2012), se va a relacionar directamente con la calidad de la harina.

Según menciona Sandoval (2012), La harina de la semilla de chía se ha caracterizado por ser una buena fuente ácidos grasos, fibra dietética total, proteína y antioxidantes, además de ser una harina libre de gluten que la hace apta para el consumo de personas que padecen la enfermedad celiaca.

Algunas de las aplicaciones que se pueden hacer con este producto para obtener alimentos con estas propiedades podrían ser: pastas, productos de panificación (panes, galletas, grisines), pre-mezclas de harina para panificación, barras de cereales, etc.

### **2.5.2. VALOR NUTRICIONAL**

#### **2.5.2.1. Composición proximal de la harina de chía**

Es notorio que a medida que disminuye el tamaño de partícula incrementa el contenido de proteína cruda, para harina de cebada desnuda. Pese a esto, en todas las fracciones se observa un incremento de proteína con respecto a la semilla sin desgrasar la cual presenta un contenido de 211 g/kg (b.s.), y un fraccionamiento eficiente

con respecto al contenido en la harina desgrasada (322 g/kg b.s.) como se aprecia en el cuadro.

Con respecto al contenido de fibra cruda ocurre un efecto inverso; pues al disminuir el tamaño de partícula disminuye el contenido de fibra cruda, esto muestra una relación directa entre el tamaño o de las partículas y el contenido de fibra cruda.

En el cuadro siguiente se muestra la composición proximal de las harinas integral triturada y desgrasada molida a 0,5 mm, con un tamiz de tamaño de malla de 100.

**Tabla 10**  
*Composición proximal de las harinas integral triturada y desgrasada molida 0.5 mm en g/Kg en base seca.*

Componente	Harina integral triturada(g)	Harina desgrasada (g)
<b>Humedad</b>	(44.2±0.2) <sup>a</sup>	(68.7±1.0) <sup>b</sup>
<b>Proteína (N*6.25)</b>	211±1.1 <sup>a</sup>	322.4±1.7 <sup>b</sup>
<b>Fibra cruda</b>	305.9±3.7 <sup>a</sup>	265±2.8 <sup>b</sup>
<b>Grasa</b>	259.8±1.0 <sup>a</sup>	4.5±0.2 <sup>b</sup>
<b>Cenizas</b>	48.6±0.3 <sup>a</sup>	70.9±0.2 <sup>b</sup>
<b>ELN</b>	174.7±3.2 <sup>a</sup>	337.2±4.9 <sup>b</sup>

*Nota: <sup>a-b</sup> Valores con letras diferentes en la misma fila denotan diferencia significativa (P<0.05).*

**Fuente:** Vásquez et al. (2013)

### 2.5.2.2. Aminoácidos de la harina de chía desgrasada

**Tabla 11**

*Composición de aminoácidos de la harina desgrasada de semillas de S. hispánica.*

Aminoácido	Harina desgrasada
<i>Esenciales</i>	
Lisina	50 ± 0
Triptofano	9,5 ± 1
Fenilalanina	51,5 ± 1
Tirosina	23 ± 0
Metionina	13 ± 0
Cisteína	19 ± 0
Treonina	39 ± 0
Leucina	72 ± 0
Isoleucina	33 ± 0
Valina	46 ± 0
<i>No esenciales</i>	
Ácido aspártico	102,5 ± 1
Ácido glutámico	199,5 ± 1
Serina	64,5 ± 1
Histidina	25,5 ± 1
Arginina	102,5 ± 1
Alanina	51 ± 0
Prolina	40 ± 1
Glicina	59 ± 0

*Fuente: Vásquez et al., 2013*

### 2.5.2.3. Contenido de vitaminas y elementos esenciales en semillas y harina desengrasada de chía.

Dentro de los microelementos reportados se destaca que los niveles de hierro encontrados en las semillas de chía y en la harina remanente después de extraer el aceite son muy elevados y representan una cantidad inusual para la semilla que, comparada con otros productos tradicionales conocidos

como fuentes ricas de hierro, presenta, cada 100g de porción comestible.

#### **2.5.2.4. Antioxidantes**

El análisis de la torta obtenida después extracción del aceite en las semillas de chía ha demostrado que poseen una fuerte actividad antioxidante (M. Silvia Taga, 1984). Estos antioxidantes hacen que la chía sea una fuente de ácidos grasos Omega-3 estable. El ácido clorogénico y el ácido cafeico son los antioxidantes más importantes en la semilla chía, aunque también se ha encontrado que contiene miricetina, quercetina y kaempferol flavonoles. Estos compuestos son tanto primaria y sinérgicos antioxidantes, y contribuyen a la fuerte actividad antioxidante de la chía. (Zúñiga, 2014)

Algunas investigaciones han demostrado que el quercetin es un potente antioxidante que puede impedir la oxidación de los lípidos, proteínas y DNA y sus propiedades son significativamente más efectivas que los flavonoles no-ortohidroxi.

El ácido cafeico y el ácido clorogénico, contenidos en la semilla de chía, han demostrado tener una fuerte actividad contra los radicales libres y los procesos oxidativos en general, inhibiendo la peroxidación de los lípidos. Estas propiedades antioxidantes son significativamente más fuertes que las del ácido ferúlico y las de los antioxidantes comunes como la vitamina C (ácido ascórbico) y la vitamina E (tocoferol).

## 2.6. PAN DE MOLDE

### 2.6.1. DEFINICIÓN

Según la Norma Técnica Peruana NTP 206.004 (MINSA, 2010), pan de molde es el producto obtenido por la cocción en moldes, de una masa fermentada hecha básicamente con harina de trigo, agua potable, sal, azúcar, levadura, manteca y leche en polvo pudiendo tener otros ingredientes y aditivos permitidos.

Se designa con el nombre de pan al «producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies de microorganismos propias de la fermentación panaria como el «*Saccharomyces Cerevisiae*». El de molde es la masa elaborada con harina de trigo blanco o integral que se enriquece con leche, azúcar y huevos. Respecto al pan tradicional, la principal ventaja del pan de molde, es su fácil masticación y que su período de conservación es muy superior al del pan común. Dentro de esta denominación podemos incluir distintos tipos de productos: pan blanco de molde, pan de molde integral, pan de leche, pan para hamburguesas.

Aunque tradicionalmente para la fabricación del pan se ha preferido generalmente harina blanca de trigo, por sus propiedades, sin embargo, parece que estas preferencias de consumo están cambiando, y en la actualidad existe un ascenso en el consumo de pan integral. En numerosas ocasiones el pan puede llevar adicionados otros ingredientes como nueces, semillas, etc. que elevaran su valor nutritivo.

Su composición nutricional va a depender del grado de refinado de la harina utilizada para su preparación y del posible

enriquecimiento o fortificaciones de la masa durante la elaboración. El pan integral será más rico en proteínas, fibras, minerales y vitaminas del grupo B, ya que la harina utilizada para su preparación esta menos refinada, además el pan integral tendrá mayor poder de saciedad.

La diferencia con el pan común, aparte de ser su textura, es que en el caso del pan de molde el contenido en grasa, proteínas y fibra es algo mayor que en el tradicional, aunque hay que tener en cuenta que ese contenido es muy variable según el tipo de pan que se consuma.

Su valor energético (287 kcal/100 g) es similar al del pan común (272 kcal/100 g), aunque se eleva cuando lleva algún ingrediente añadido como nueces, leche, mantequilla, etc. En relación a su contenido lipídico, tiene mayor cantidad de grasa (4,5 g/100 g) y de calidad inferior que en el pan común ya que durante su tratamiento industrial se produce la hidrogenación de los ácidos grasos insaturados, al igual que en la fabricación de otros alimentos (bollería, precocinados, etc.), transformándose en ácidos grasos «trans». Aporta proteínas vegetales procedentes del grano de trigo (8 g/100 g) en igual cantidad que el pan blanco (7,8 g/100 g).

**Tabla 12**  
*Criterios Fisicoquímicos del pan de molde.*

<b>PRODUCTO</b>	<b>PARÁMETRO</b>	<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</b>
<b>Pan de molde (blanco, integral y sus productos tostados)</b>	Humedad	40% - pan de molde 6%- pan tostado
	Acidez (expresada en ác. sulfúrico)	0.5% – (Base seca)
	Cenizas	4% - (Base seca)

*Fuente: RM N° 1020-2010 / Minsa, 2010*

### **2.6.2. CLASIFICACIÓN DE UN PAN DE MOLDE**

Según la Norma Técnica Peruana NTP 206.004 (MINSA, 2010), según el grado de extracción de la harina utilizada, el pan de molde se clasificará en:

- **PAN INTEGRAL:** Es el pan de molde elaborado con harina integral.
- **PAN BLANCO:** Es el pan de molde elaborado con harina, con un máximo de 82% de extracción.
- **PAN CORRIENTE:** Es el pan de molde elaborado con harina de más de 82% hasta 86% de extracción.
- **PAN TOSTADO DE MOLDE:** Es el producto que como producto anterior tiene el pan de molde y que ha sido tostado (o secado) bajo condiciones controladas.

### **2.6.3. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS**

Los insumos indispensables o básicos en la elaboración del pan de molde son: la harina de trigo, el agua, la levadura y la sal. Si faltará sólo uno de estos ingredientes no se podría elaborar el pan de molde. Estos ingredientes son los responsables de las características, apariencia, textura y sabor del pan.

Los ingredientes secundarios son: el azúcar, la grasa, la leche y aditivos. Se puede producir pan de molde sin estos ingredientes, pero si queremos tener mayor calidad en los panes de molde, debemos de utilizarlas de todas maneras.

A continuación se detallan cada uno de los ingredientes:

### **2.6.3.1. El agua**

El agua es uno de los ingredientes más importantes en la elaboración del pan, y su calidad tiene una importancia fundamental en la técnica de la panificación, en la excelencia del producto, en la estructura de costos y en la comercialización. La cantidad de agua va a depender del tipo de pan, de la harina y su capacidad de absorción y de la maquinaria que se tiene para su elaboración. (Sosa, 2015)

Se considera al agua como material de unión impartiendo tenacidad a la estructura e interviniendo en la formación del gluten, pudiendo la calidad del agua tener grandes efectos en los productos horneados, así como también la cantidad y tipo de minerales disueltos y presencia de sustancias orgánicas pueden afectar el sabor, color y atributos físicos de los productos finales.

El agua hidrata los almidones de la harina, que junto con el gluten, dan por resultado, una masa plástica, suave y elástica. Esta masa va crecer por acción del gas que se produce en la fermentación. (Quintong & Tenesaca, 2013)

La presencia del agua hace posible la porosidad y el buen sabor del pan. Una masa con poco agua da un producto seco y quebradizo.

La proporción de agua que se usa con relación a la harina, denominada absorción, gobierna las propiedades reológicas de la masa (movilidad, plasticidad, extensibilidad y pegajosidad) y determinan en gran parte la calidad del producto final.



El agua posee sales minerales suficientes que refuerzan el gluten y sirven como nutrientes para la levadura mejorando de esta forma la producción. (Carrero y Armendariz, 2013).

Funciones del agua en panificación:

- Formación de la masa: el agua es el vehículo de transporte para que los ingredientes al mezclarse formen la masa. También hidrata el almidón que junto con el gluten dan por resultado la masa plástica, suave y elástica.
- Fermentación: para que las enzimas puedan actuar hace falta el agua para que puedan difundirse a través de la pared o la membrana que rodea la célula de levadura. El agua es el que hace posible la propiedad de plasticidad de la masa, de modo que pueda crecer por la acción del gas producido en la fermentación.
- Efecto en el sabor y la frescura: el agua hace posible la porosidad y el buen sabor del pan. Las sustancias minerales disueltas en el agua confieren facilidad de trabajar la masa.

#### **2.6.3.2. La levadura**

Se llama levadura al organismo vivo que produce enzimas, los cuales provocan cambios bioquímicos importantes en productos orgánicos naturales.

Son vegetales microscópicos que pertenecen a la familia *Saccharomyces* siendo exclusivo para panificación *Saccharomyces cerevisiae*, haciendo posible la fermentación alcohólica cuando se le somete a ciertas condiciones especiales. (Lezcano, 2011)

La levadura para actuar necesita humedad, azúcares simples (levulosa y dextrosa), materiales nitrogenados que lo toman de la proteína de la harina, minerales y temperatura adecuada, pero su actividad depende de su contenido de enzimas, coenzimas y activadores.

La fermentación en los alimentos es casi siempre una mezcla de carbohidratos, grasas, proteínas, etc. Los cuales sufren modificaciones simultáneas bajo la acción de diferentes tipos de fermentos.

La levadura es un fermento que produce una sustancia que rompe los almidones de la harina y los transforma en azúcar y éstos a su vez en alcohol y gas carbónico, que le da al pan su carácter esponjoso.

La levadura está constituida por unos hongos microscópicos, sin color, en forma redonda u ovalada. En nuestro medio encontramos levadura en dos presentaciones:

-Levadura comprimida o en pasta.

-La levadura activa seca en forma granulada.

Según López (2013) las principales funciones de la levadura en el proceso de panificación son:

- Producción de sustancias que colaboran en la modificación de las estructuras de las proteínas de la harina (gluten), de forma que las paredes celulares estén capacitadas para retener el anhídrido carbónico producido. La reducción de la fermentación tiene como consecuencia la pérdida de parte de elasticidad de la masa. Probablemente la plasticidad es una propiedad adquirida como consecuencia de la rotura de

los enlaces intermoleculares, manteniendo la configuración longitudinal de los enlaces del gluten.

- Desarrollo de parte del aroma y sabor, mediante la producción de alcoholes, aromas típicos de panificación, éteres, ácido acético, butírico y láctico
- Quizás la función más importante es la subida de la masa, debida a la producción de CO<sub>2</sub> (anhídrido carbónico) y alcohol etílico en forma de etano (2C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), por la transformación de la glucosa.



### **2.6.3.3. La sal**

Es otro ingrediente básico que mejora el sabor del pan, sin ella el pan sería desabrido. Se conoce como sal comestible o simplemente sal al cloruro sódico obtenido y conservado de forma que se pueda utilizar en la alimentación humana. (Hernández y Majem, 2010)

Las principales funciones que cumple la sal es:

- Da sabor al producto, además resalta los sabores de otros ingredientes como las masas dulces.
- Fortalece el gluten, permitiendo a la masa retener mejor el agua y gases.
- Contrae y estabiliza el gluten de la harina, facilitando así conseguir una pieza bien formada con miga que no se desmorone al cortar.
- Coadyuva a mantener la humedad de la pieza una vez que esta ha salido del horno.

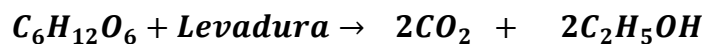
#### 2.6.3.4. El azúcar

El azúcar funciona como ablandador al igual que la grasa vegetal, en los productos horneados. Además de dulzor, el azúcar también tiene la propiedad de retener humedad. Permite conservar el pan por más tiempo por la propiedad higroscópica que permite absorber humedad. (Iglesias, 2011).

Ayuda a una rápida formación de la corteza del pan, debido a la caramelización por una parte y a la reacción de Maillard entre azúcares reductores (maltosa, dextrosa y levulosa) y las proteínas de la harina; esto permite temperaturas de horno más bajas, rápida cocción y mayor cantidad de agua retenida en el producto final.

El azúcar es alimento para la levadura ayudándolo en el metabolismo, permitiendo la acción de las enzimas.

También se menciona que la levadura ataca a los azúcares fermentables (dextrosa y levulosa) que están presentes en la harina, como la maltosa formada en la hidrólisis del almidón, por eso su importancia en la disposición de azúcares para producir CO<sub>2</sub> que sirva para elevar la masa según la ecuación.



Glucosa  
(Dextrosa+Levulosa)

Anhídrido  
Carbónico

Alcohol

#### 2.6.3.5. Grasas

En la elaboración del pan con frecuencia se añade grasas (manteca, margarina, mantequilla y en algunos casos aceite)

con el objeto de mejorar la calidad panadera. (Iglesias, 2011).

La incorporación de la grasa como ingrediente reblandece la miga, por lo que el pan mejora su vida de anaquel.

Las grasas son sustancias que se emplean para la elaboración de productos horneados mejorando la característica de las masas, donde las grasas se reparten en finas capas entre los hilos del gluten de la masa, produciendo un efecto lubricante, da una masa suave y la uniformidad de la miga es más pronunciada. Además mejora la presentación del pan con buena coloración, una formación de miga más fina, textura más suave, mayor volumen y buen sabor al pan. (Quintong & Tenesaca, 2013).

#### **2.6.3.6. ADITIVOS PARA EL PAN**

En la elaboración del pan de molde estará permitido el uso de los siguientes aditivos según la Norma ITINTEC 206.004 (MINSA, 2010), el mismo que será verificado por la autoridad sanitaria así como también la verificación de su pureza:

- **Emulsificantes**

Tienen propiedades útiles que mejoran la fabricación de productos alimenticios, especialmente productos de panadería, por lo cual son ingredientes muy importantes en la industria de la panificación. (López, 2013)

Esteres de ácido tartárico diacetilado con ácidos grasos de mono y diglicéridos (ésteres de DATA, E472). Estas sustancias mejoran la retención del gas a cuando se

incorporan a todas las masas que tienen como ingrediente principal la harina de trigo y han sido fermentadas por levaduras.

Son muchas las evidencias que al incorporar ésteres a la masa panarias, estas sustancias se enlazan rápida y totalmente con las ramificaciones del gluten hidratado. El entramado de gluten resultante no es solo más fuerte sino más extensible y de carácter más elástico. Esto forma una masa con una red de burbujas cuyas paredes son de pequeño tamaño, fuerte y extensible. Una de las aplicaciones principales en las que puede explotarse esta característica es en el pan blanco, panes integrales multigrano y con semillas.

- **Mejorador de masa**

A la hora de hablar de los aditivos, debemos decir que son muchos los principios activos que conjuntamente se añaden para formar el aditivo que simplemente ayuda a subsanar las distintas anomalías en la harina y que se clasifican según su concentración. (García & Pérez, 2013)

Son compuestos utilizados durante el amasado, actúan sobre las proteínas principalmente de la harina, que tienen por finalidad corregir fallas de las masas en proceso, mejorando las características panaderas por el acondicionamiento de gluten.

Para que se produzca una determinada reacción, es necesaria la presencia de un determinado Mejorador, y la mayor o menor cantidad de este suele modificar la velocidad de la reacción controlada.

- Conocer las características de la harina previamente, ya que el efecto de un mejorante es distinto si utilizamos harinas acondicionadas o no.
  - Antiguamente se clasificaban por su dosis, pero hoy la clasificación tiene más sentido según el proceso de panificación que tenga el panadero.
  - Se clasifican en conservantes, antioxidantes, fermentadores, reguladores (Grupo Vilbo, 2011, p.6). La dosis recomendada de mejorador esta entre el 0.5 % - 2 % con relación al peso de la harina.
- **Conservadores**

Como ácido propiónico y sus sales de Ca y Na (4000 mg/kg), ácido sórbico y sus sales de Ca, K y Na (1500 mg/Kg). Estos aditivos prolongan el tiempo de vida útil del producto.

#### **2.6.4. MÉTODOS DE ELABORACIÓN**

Según López (2013) clasifica a los principales métodos de elaboración actualmente como:

##### **2.6.4.1. Método de masa directa**

Este método consiste en mezclar todos los componentes de la masa y combinarlos en una sola etapa. En el mezclado se trata de obtener una masa suave con un óptimo de

elasticidad. La masa se fermenta por 2 a 4 horas y ocasionalmente se realiza el “punch” durante este periodo.

#### **2.6.4.2. Método de esponja**

En este método el volumen de harina a utilizar es dividido en dos partes: una de ellas es mezclada con levadura y agua, dejándole fermentar cierto tiempo, a esta masa se le llama “esponja”, la cual se mezcla con la otra cantidad de harina y los otros ingredientes (masa). La cantidad de harina a utilizar en la “esponja” y en la masa está regulada por el tipo de harina y el tipo de producto a elaborar.

### **2.6.5. PROCESO DE ELABORACIÓN**

Las etapas para el procesamiento del pan de molde son las siguientes:

#### **2.6.5.1. Pesaje y medición**

Es la primera etapa en el proceso de producción del pan en el cual se pesan los insumos tanto sólidos como líquidos que conformarán la masa del pan, es muy importante controlar el peso de los insumos y que la formulación del pan este correctamente establecida para poder obtener una masa apta para la producción (Amorós, 2011, p.46).

#### **2.6.5.2. Mezcla y amasado**

Los objetivos de este paso son la distribución homogénea de los ingredientes y un adecuado desarrollo del gluten. Los



métodos más empleados son el directo en el cual todos los ingredientes se mezclan al mismo tiempo y el de esponja en el cual inicialmente solo se mezclan la mitad de los ingredientes, completándose la mezcla después de la fermentación.

#### **2.6.5.3. Fermentación**

La masa se coloca en un cuarto con temperatura y humedad controlada, en estas condiciones los almidones de la harina se transforman en azúcares y estos en alcohol y gas carbónico el cual hace que el volumen del pan se aumente. El proceso de fermentación es de tres tipos:

- La fermentación en masa o punteado que comprende desde el amasado hasta las primeras etapas del corte.
- La fermentación intermedia que abarca desde las últimas partes del corte hasta el moldeo.
- La denominada fermentación final en la cual se da el máximo desprendimiento de CO<sub>2</sub>.

#### **2.6.5.4. División o corte**

Luego de la fermentación se divide la masa en tantas porciones como panes se vayan a fabricar. Para ello se emplea una maquina cortadora divisora, para obtener un peso similar en cada pan se debe tener en cuenta la pérdida de peso de la masa por deshidratación. Cuando la masa total no sufre una “prefermentación”, simplemente se forman los panes con el tamaño deseado y pasamos los panes al cuarto de fermentación.

#### **2.6.5.5. Boleo o redondeo**

El boleado es la forma que se le da a la masa dividida dependiendo del tipo de pan que se deseada, es importante que este proceso no tome un tiempo prolongado, debido a que la levadura está actuando sobre la masa, verificando la elasticidad de la masa se puede comprobar que la masa no ha sido completamente fermentada (Castilla, 2014, p17). Esto se hace con el fin de que los trozos de masa reposen antes de ser formados por un tiempo de 10 a 20 minutos.

#### **2.6.5.6. Moldeado**

Cada bola de masa se extiende con un rodillo y se procede a dar la forma que corresponda al tipo de pan que se está elaborando.

#### **2.6.5.7. Leudación (Fermentación final)**

Los panes moldeados se colocan nuevamente en el cuarto de fermentación donde crecen aproximadamente el doble de su tamaño a una temperatura de 30-35°C y una humedad entre 80-85%.

La temperatura, el tiempo y la humedad relativa son factores importantes al momento del leudado, un exceso de estos factores produce un pan seco, el cual se endurece rápidamente (Aguilar, 2010, p.30)

#### **2.6.5.8. Brillado**

Los panes se brillan aplicándoles generalmente una mezcla de huevo y agua, con una brocha común.

#### **2.6.5.9. Horneado**

Finalmente los panes se colocan en el horno, el tiempo y temperatura de horneado dependerá mucho del peso y tipo de pan, además del tipo de horno que se utilice. (Marrou & Villacorta, 2010, p.24). Esta etapa sucede en dos fases:

- Cuando el producto adquiere una temperatura interna de 45-50°C la producción de gas se inactiva por la muerte de la levadura y da el volumen final del pan y la miga se expande por la acción del gas; cuando el producto tiene una temperatura interna entre 60 - 70°C hay coagulación de proteína y gelatinización de los almidones, el producto pierde su plasticidad y adquiere la forma definitiva del pan.
- En la segunda etapa ocurre el secado que forma la corteza y el cocimiento del pan.

#### **2.6.5.10. Enfriamiento y almacenamiento**

Debe efectuarse a temperatura ambiente no todos los tipos de pan se empacan pero cuando se hace no se deben empacar panes aun calientes (27-30°C) y no empacar en polietilenos que contengan polímeros tóxicos.

### **2.7. REOLOGÍA DE LAS HARINAS**

En la reología de las harinas usadas en panificación se evalúan estos tres factores: la granulometría, farinografía y amilografía.

### 2.7.1. GRANULOMETRÍA

Es el análisis del tamaño de las partículas que constituyen la harina. La granulometría puede apreciarse al tacto o bien por tamizado y servirá para detectar y diferenciar harinas granuladas que se deslizan entre los dedos, de harinas finas que quedan retenidas.

### 2.7.2. FARINOGRAFÍA

Este método se aplica para la determinación de la absorción de agua y el comportamiento durante el amasado de una harina de maca. El farinógrafo es una amasadora que permite medir la consistencia de las masas, y por tanto el potencial de hidratación de una harina para una consistencia dada, 500 unidades de Brabender. La curva, suministra el valor del par consistencia en función del tiempo.

La información que nos aporta la curva registrada por el farinógrafo es la siguiente:

- ✓ **Tiempo de desarrollo de la masa.** Corresponde al tiempo necesario para alcanzar la consistencia deseada en relación con la rapidez de formación de la masa. Este valor nos permitirá diferenciar harinas de amasado lento o rápido.
- ✓ **Estabilidad.** Corresponde al tiempo transcurrido entre el punto en que la parte superior de la curva alcanza la línea de 500 unidades farinográficas y el punto en que la misma parte superior de la curva cruza nuevamente la línea de 500 unidades.

La estabilidad nos proporciona una indicación sobre la estabilidad de la consistencia.

- ✓ **Grado de decaimiento.** Es la magnitud de descenso de consistencia al proseguir el amasado. Es la diferencia en unidades farinográficas entre el centro de la curva en el punto de máxima consistencia y el centro de la curva 12 minutos después de este máximo.

### 2.7.3. AMILOGRAFÍA

Se realiza con el amilógrafo y mide de manera continua la resistencia a la agitación de una suspensión de harina-agua mientras se va elevando la temperatura a la velocidad constante de 1,5°C / min a partir de 25°C hasta 95°C. De esta forma se detectan los cambios de viscosidad del producto después de la gelatinización (a los 60°C) del almidón, detectándose los cambios siguientes:

- Pérdida de birrefringencia.
- Hinchamiento irreversible de los gránulos.
- Liberación de amilosa.
- Aumento rápido de la viscosidad.

Harinas con alta actividad  $\alpha$ -amilásica darán viscosidades bajas. Por el contrario harinas con poca actividad  $\alpha$ -amilásica darán viscosidades elevadas.

El valor del amilógrafo establece el efecto de la  $\alpha$ -amilasa durante el proceso de panificación. En definitiva el amilógrafo da información sobre la calidad del almidón y el contenido en enzimas de una harina. La valoración de la propiedad gelatinizadora de la harina permite saber con anterioridad a la estructura de la miga, la necesidad de añadir harinas especiales, aditivos diastásicos, etc. Valores correctos para panificación se

sitúan entre 400-500 U.A. Las harinas procedentes de trigos germinados darán valores inferiores a 400 U.A y no son aptas para panificación.

Gracias a los avances actuales y al desarrollo tecnológico alcanzado en los últimos tiempos, se ha conseguido introducir nuevas técnicas en analítica que nos garantizan unos resultados de una gran fiabilidad y en un tiempo menor, comparándolo con las técnicas existentes. Uno de estos avances, sería el caso del RVA (Rapid Visco Analyser). Dicha técnica proporciona unos resultados similares a los del ya existente amilógrafo pero con un recorte significativo en el tiempo empleado para ello.

La prueba de RVA consiste en someter a la muestra al ciclo clásico de la cocción (precalentamiento-calentamiento-reposo) donde la viscosidad registra un comportamiento que depende en gran medida del origen y de las propiedades del almidón.

## **2.8. EVALUACIÓN SENSORIAL**

### **2.8.1. DEFINICIÓN**

El análisis sensorial es la evaluación que se realiza a un alimento por medio de los sentidos, en el cual se pueden analizar las propiedades organolépticas de un alimento. Si se requiere de un análisis sensorial muy profundo y estricto es necesario que la persona que realiza el análisis se haya capacitado en este tema y pueda distinguir fácilmente entre las diferentes cualidades del alimento. Es necesario el análisis sensorial al momento de cambiar un insumo en la elaboración de un alimento y analizar si este altera alguna propiedad organoléptica (Ramírez, 2012, p.21).

## 2.8.2. TIPOS DE PRUEBAS

Se tiene dos tipos de una orientada al consumidor y otra orientada al producto.

### 2.8.2.1. Pruebas Orientadas al Consumidor

Las pruebas orientadas al consumidor incluyen:

**a. Pruebas de Preferencia:** Las pruebas de preferencia les permiten a los consumidores seleccionar entre varias muestras, indicando si prefieren una muestra sobre otra o si no tienen preferencia.

**b. Pruebas de Aceptabilidad:** Las pruebas de aceptabilidad se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores.

**c. Pruebas Hedónicas:** Las pruebas hedónicas están destinadas a medir cuánto agrada o desagrada un producto. Para estas pruebas se utilizan escalas categorizadas, que pueden tener diferente número de categorías y que comúnmente van desde “me gusta muchísimo”, pasando por “no me gusta ni me disgusta”, hasta “me disgusta muchísimo”. Los panelistas indican el grado en que les agrada cada muestra, escogiendo la categoría apropiada.

### 2.8.2.2. Pruebas Orientadas a los Productos

Las pruebas orientadas a los productos, utilizadas comúnmente en los laboratorios de alimentos, incluyen las pruebas de diferencias, pruebas de ordenamiento por

intensidad, pruebas de puntajes por intensidad y pruebas de análisis descriptivo.

**a. Pruebas de Diferencia:** Las pruebas de diferencia se diseñan para determinar si es posible distinguir dos muestras entre sí, por medio de análisis sensorial.

**b. Pruebas de Ordenamiento para Evaluar Intensidad:** En las pruebas de ordenamiento por intensidad, se requiere que los panelistas ordenen las muestras de acuerdo a la intensidad perceptible de una determinada característica sensorial. Este tipo de pruebas se puede utilizar para obtener información preliminar sobre las diferencias de productos o para seleccionar panelistas según su habilidad para discriminar entre las muestras con diferencias conocidas. Las pruebas de ordenamiento pueden indicar si existen diferencias perceptibles en la intensidad de un atributo entre diferentes muestras, aunque no dan información sobre la magnitud de la diferencia entre dos muestras.

**c. Pruebas de Evaluación de Intensidad con Escalas:** En las pruebas de evaluación de intensidad, se requiere que los panelistas evalúen la intensidad perceptible de una característica sensorial de las muestras, pero a diferencia de las “pruebas de ordenamiento para evaluar intensidad”; éstas pruebas utilizan escalas lineales o escalas categorizadas, logrando medir la magnitud de la diferencia entre las muestras de acuerdo al mayor o menor grado de intensidad de una característica.

**d. Pruebas Descriptivas:** Las pruebas descriptivas son similares a las pruebas de evaluación de intensidad,



excepto que los panelistas deben evaluar la intensidad de varias características de la muestra en vez de evaluar sólo una característica.

## **2.9. VIDA ÚTIL**

### **2.9.1. DEFINICIÓN**

La vida útil de un alimento representa aquel periodo de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario, manteniendo las características sensoriales, funcionales y nutricionales por encima de los límites de calidad previamente establecidos como aceptables.

La vida en anaquel es determinada para cada alimento en particular y el hecho de incorporar nuevos ingredientes en el diseño de nuevos productos, puede traer consigo variación de la vida de anaquel del alimento. El alimento es intrínsecamente perecedero y, en función de sus características físicas y químicas, de sus propiedades y las condiciones de almacenamiento, llegará un momento en que cualquiera de sus cualidades de calidad no serán aceptables o se convertirá en perjudicial para el consumidor. (Hurtado, 2016)

El procesamiento somete a las materias e ingredientes formulados a condiciones que son desfavorables o inhibitorias para las reacciones de deterioro y promueven cambios físicos y químicos favorables que dan al alimento su forma y características finales. Una vez que el alimento abandona la etapa de procesamiento sigue manteniendo sus características y el periodo en que el alimento retiene dichos atributos está en función del microambiente del empaque. Los parámetros más importantes son: composición del gas (oxígeno, dióxido de carbono, gases

inertes, etileno, etc.), humedad relativa, presión o estrés mecánico, luz y temperatura. Estos parámetros son dependientes tanto del empaque como de las condiciones de almacenamiento.

Dado que los productos alimenticios tienen una vida finita y variable, se deben tomar precauciones para maximizar el mantenimiento de la calidad, que se traduce en costos y patrones de manipuleo. La vida del producto debe exceder el tiempo mínimo de distribución requerido, hasta que llegue al consumidor y que este, como usuario final, someta a un periodo razonable de almacenamiento al producto. (Hurtado, 2016)

### **2.9.2. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL**

La vida en anaquel de un producto está determinada por los componentes del sistema, el proceso de elaboración, el método de empackado, el tiempo y la humedad relativa durante el transporte y almacenamiento. En forma general, estos factores pueden ser caracterizados en factores intrínsecos y extrínsecos.

Los factores intrínsecos están constituidos por las propiedades del producto final, como son:

- Contenido de humedad
- pH y acidez
- Potencial redox
- Oxígeno disponible
- Contenido de nutrientes
- Microflora natural y recuento de microorganismos supervivientes

- Bioquímica de la formulación del producto (reactivos químicos, enzimas, etc.)
- Uso de preservantes en la formulación del producto
- Los factores intrínsecos se encuentran influenciados por variables como, tipo y calidad de la materia prima, formulación del producto y su estructura.

Los factores extrínsecos son aquellos que el producto tiene que enfrentar durante la cadena de distribución del mismo, estos incluyen los siguientes:

- Perfil tiempo – temperatura durante el procesamiento, presión del espacio de cabeza
- Control de la temperatura durante el almacenamiento y distribución
- Humedad relativa durante el procesamiento, almacenamiento y distribución
- Exposición a la luz (UV e IR) durante el procesamiento, almacenamiento y distribución
- Contaminación microbiana durante el procesamiento, almacenamiento y distribución
- Composición de la atmósfera dentro del empaque
- Tratamiento térmico subsecuente (es decir, recalentamiento o cocción del producto antes de que sea consumido)
- Manipulación del consumidor.

Estos factores operan comúnmente en forma conjunta e impredecible, por lo que debe investigarse la posibilidad de interacción entre ellos. Un tipo de interacción particular muy útil ocurre cuando los factores como, reducción de la temperatura,

tratamiento térmico, acción antioxidante y empaque en atmósfera controlada, operan con la finalidad de inhibir el crecimiento microbiano, en el llamado “efecto de barrera”. Esta forma de interacción de los factores, los cuales, de forma individual, no podrían prevenir el crecimiento microbiano, en combinación, permite a los productores usar técnicas de procesamiento más moderadas de tal manera que permitan una mayor retención de las propiedades sensoriales y nutricionales.

La interacción de los factores intrínsecos y extrínsecos puede inhibir o estimular procesos que ponen fin a la vida en anaquel.

Estos procesos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

#### **a) Deterioro químicos**

Según Hernández (2012), menciona que los panes pueden verse afectados por el deterioro químico debido a que en su composición se encuentra algún tipo de grasa (aceites o margarinas) y estas grasas son susceptibles a enranciarse con mayor facilidad, lo cual se debe a la reacción del oxígeno atmosférico con determinados compuestos de los alimentos dando lugar a compuestos no deseados o incluso compuestos altamente tóxicos.

El pan, dado que tiene un mayor contenido en grasas, puede estar también sometido al deterioro químico o rancidez. La rancidez se caracteriza por la degradación lipídica lo que provoca mal olor y sabor, volviendo a los productos desagradables y disminuyendo así su vida útil. Sin embargo, no es un problema frecuente de deterioro del producto. Hernández (2012),

## **b) Deterioro microbiológicos**

Los alimentos que consumimos, raramente por no decir nunca, son estériles sino que contienen asociaciones microbianas cuya composición depende de que organismos llegan a él y de cómo se multiplican, sobreviven e interaccionan en el alimento en el transcurso del tiempo. Los microorganismos existentes en un alimento procederán tanto de la microflora propia de la materia prima como de los microorganismos introducidos durante las operaciones de recolección/sacrificio, tratamiento, almacenamiento y distribución.

Karen et al. (2015), refieren al daño de los alimentos causado por microorganismos (bacterias, hongos y levaduras). Los microorganismos pueden crecer en casi todo tipo de productos alimenticios. Como los microorganismos están presentes alrededor de nosotros, existe siempre un riesgo de deterioro microbiológico.

El crecimiento de ciertos microorganismos durante el almacenamiento depende de varios factores como el recuento microbiano al inicio del almacenamiento, propiedades fisicoquímicas del alimento como el pH, contenido de humedad, potencial de óxido-reducción, contenido de nutrientes y preservantes; el método utilizado para el procesamiento del alimento y condiciones de almacenamiento del producto.

La patogenicidad de ciertos microorganismos es la mayor preocupación del procesamiento y manejo de los alimentos. Además de indigestión, los microorganismos tales como las especies de *Salmonella* y las cepas de *Escherichia coli* causan infección mientras que otras tales como *Aspergillus flavus*,

*Clostridium botulinum* y *Staphylococcus aureus* producen químicos en los alimentos que son tóxicos para los humanos. La presencia de mohos y su crecimiento podría ocasionar apariencias y sabores indeseables.

### **c) Deterioro físicos**

Según Karen et al. (2015), mencionan que el deterioro físico se produce inicialmente por pérdida de agua o por evaporación observándose arrugamiento o contracción del producto en su superficie; se presenta también pérdida de peso y de textura.

La pérdida de humedad es la mayor causa del deterioro físico en los alimentos. Esta pérdida puede darse tanto en productos frescos (donde se pierde humedad), como en productos secos o deshidratados (donde se gana humedad). Otro fenómeno de migración, especialmente en alimentos complejos, es el de la grasa de un componente a otro. Los cambios físicos de los materiales en empaque, pueden también limitar la vida en anaquel.

### **d) Cambios de deterioro relacionado con la temperatura**

El deterioro puede producirse tanto a temperaturas bajas como a temperaturas altas. El incremento de la temperatura generalmente incrementa la velocidad de las reacciones químicas. En alimentos con contenido graso, la grasa sólida se vuelve líquida y actúa como solvente para las reacciones en la fase oleosa. El incremento de la temperatura puede también cambiar las características de cristalización de los alimentos con contenido en azúcares. La desestabilización del sistema de emulsión puede ocurrir bajo condiciones de variación en la temperatura y agitación mecánica. Las temperaturas

fluctuantes producen formación de cristales en los alimentos congelados, como los helados. En contraste, el incremento de la temperatura reduce el endurecimiento de los panes.

## 2.10. PRUEBAS BIOLÓGICAS

A lo largo del tiempo se han usado distintos métodos para evaluar la calidad nutricional de las proteínas alimentarias. Las metodologías tradicionales como el cálculo del valor biológico (VB), digestibilidad aparente (Da), y coeficiente de eficacia biológica (PER), se basan en bioensayos con animales.

### 2.10.1. VALOR BIOLÓGICO (VB)

El valor biológico de una proteína se define como la proporción de proteína absorbida, que ha sido utilizada por el organismo. Para que una proteína sea aprovechada por el organismo, es necesario que contenga todos los aminoácidos esenciales, en las proporciones necesarias.

Por lo tanto, el valor biológico de una proteína tiene relación con su contenido en aminoácidos, especialmente de los aminoácidos esenciales (que el organismo sólo puede obtener de la alimentación). La presencia de determinados aminoácidos, hace que una proteína sea de mayor calidad.

Científicamente, la fórmula para calcular el valor biológico de una proteína es la siguiente:

$$\%VB = \frac{N_{ingerido} - (N_{excretado} + N_{urinario}) \times 100}{N_{ingerido} - N_{excretado}}$$

## 2.10.2. DIGESTIBILIDAD APARENTE

La evaluación de la digestibilidad supone la determinación de, qué cantidad de un determinado nutriente o sustancia alimenticia desaparece del tracto digestivo o dicho de otra forma, que cantidad de material no se degrada ni se absorbe mientras pasa a través del animal. Este es un aspecto importante en la utilización de los nutrientes, ya que los residuos no digeridos y las excreciones fecales asociadas con la digestión son la única pérdida de mayor relevancia en la utilización de los alimentos, llegando a ser cercano al 40%.

La digestibilidad de un alimento o nutriente es esencial para determinar cuánto de lo que el animal consume en una dieta es realmente absorbido y, por consiguiente, determinar la calidad de una dieta.

La determinación del coeficiente de digestibilidad se obtiene a partir de ensayos de digestibilidad, los cuales en monogástricos se basan en dar a un grupo de animales un alimento de composición conocida, para luego analizar las deposiciones producidas. De esta manera, se explica cuánto de lo que el animal consumió, fue digerido y absorbido, y cuánto se perdió a través de las heces.

La digestibilidad, estima la proporción de nutrientes en una ración que presumiblemente son absorbidos por el animal. Ésta depende en gran parte, de la composición nutritiva de la ración en estudio, aunque su medición se complica porque las heces tienen cantidades de materiales que no provienen de la dieta (compuestos nitrogenados, lipídicos, minerales y glúcidos no fibrosos de origen endógeno). Por esta razón, los coeficientes de digestibilidad son “aparentes”, sin embargo son de gran utilidad.



Finalmente, a través del análisis de las muestras del alimento dado y de las muestras obtenidas desde las heces recolectadas, se puede obtener la cantidad de nutriente de ellas. El coeficiente de digestibilidad se puede obtener expresando el peso de los nutrientes digeridos como proporción de los pesos consumidos. Esto se hace a través de una fórmula general para el coeficiente de digestibilidad.

La expresión de este parámetro se hace a través del coeficiente de digestibilidad, el cual expresa en % la cantidad de alimento o sustancias nutritivas que se asimilan por el organismo con fines fisiológicos y productivos.

Este coeficiente se presenta por la siguiente fórmula:

$$\% \text{DIGESTIBILIDAD APARENTE} = \frac{N_{\text{ingerido}} - N_{\text{excretado}}}{N_{\text{ingerido}}} \times 100$$

Factores que afectan la digestibilidad de un alimento. La digestibilidad de un alimento es bastante variable, siendo influida por factores relacionados con el animal, con el medio ambiente y con el alimento, entre los cuales se destacan los siguientes:

- **Edad del Animal:** En cada fase de desarrollo y productiva se presenta un desarrollo anatómico y funcional del tubo digestivo y una actividad enzimática, que permite el aprovechamiento más eficiente de ciertos alimentos.

Especie Animal: Los rumiantes y los herbívoros monogástricos están adaptados para el aprovechamiento de los carbohidratos estructurales, mediante procesos de fermentación microbiana a nivel ruminal o cecal.

- **Composición de los Alimentos:** La cantidad de fibra bruta, especialmente del complejo lignocelulolítico, afecta de manera negativa la digestibilidad del alimento por reducción de la digestibilidad de las proteínas y los carbohidratos fermentables, los cuales quedan atrapados dentro de la pared celular. En todas las especies animales es indispensable una cierta cantidad de fibra bruta para ayudar al normal tránsito intestinal.
  
- **Composición de la dieta:** En una dieta mixta el exceso de carbohidratos fermentables puede disminuir el aprovechamiento de los carbohidratos estructurales. El exceso de proteína verdadera puede afectar la utilización del nitrógeno no proteico, en el caso de los rumiantes.
  
- **Tamaño de la partícula del alimento:** La molienda fina de los granos y los cereales favorece la digestibilidad por existir una mayor área de exposición a la acción de las enzimas. Pero puede provocar inconvenientes, representados en un incremento de problemas respiratorios y un mayor desperdicio del alimento. En el caso de los forrajes, la excesiva reducción del tamaño de las partículas aumenta la velocidad de tránsito del alimento, presentándose una reducción en la digestibilidad y en la exposición a la fermentación microbiana.
  
- **Cocción del Alimento:** Es útil para eliminar factores anti nutricionales presentes en algunos alimentos: por ejemplo, la solanina de la papa y los factores antitripsínicos en las semillas de las leguminosas. No obstante, un exceso de calentamiento de dichas semillas produce la formación de sustancias indigestibles.

- **Tratamientos Químicos:** El empleo de ácidos, álcalis, enzimas o gases como el amonio, aumenta la digestibilidad de materiales fibrosos como el afrecho, el tamo, la paja y las socas de cereal.
- **Presencia de factores anti nutricionales:** Disminuye la digestibilidad de los alimentos. Como ejemplos se tienen los glucanos en la cebada, el ácido cianhídrico en la yuca, los antitripsínicos en las semillas de leguminosas y los taninos en el sorgo.

### 2.10.3. RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA (PER)

El coeficiente de eficacia biológica está basado en la ganancia en peso de una rata en crecimiento dividido por su ingesta de una proteína alimentaria concreta durante un período de ensayo.

$$PER = \frac{\text{Peso Ganado (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Escuela de Agroindustria - Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Investigación y Desarrollo de productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustria – Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Análisis y Composición de productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustria - Universidad Nacional del Santa.
- Instalaciones del área de Panificación de la Planta Piloto Agroindustria - Universidad Nacional del Santa.

#### **3.2. MATERIALES**

##### **3.2.1. Materia prima**

- Harina de trigo para panificación, marca Nicolini. Lote N° 612 129809, adquirido en Comercial D´GOBA E.I.R.L.
- Harina de trigo integral. Lote N° 0232024, adquirido en Comercial D´GOBA E.I.R.L.

- Harina de chía sin desgrasar, obtenida por semillas adquiridas en el mercado “Buenos Aires”.
- Harina de chía desgrasada, obtenida por semillas adquiridas en el mercado “Buenos Aires”.

### **3.2.2. Insumos**

- Azúcar rubia, marca San Jacinto
- Levadura (*Saccharomyces Cervisae*) seca instantánea, marca PLATINUM.
- Manteca vegetal, marca Gordito
- Sal yodada de cocina, marca Emsal.
- Emulsionante en polvo, marca Fleishman.
- Antimoho, marca Fleishman.
- Mejorador de masa.

## **3.3. EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y REACTIVOS**

### **3.3.1. Equipos e Instrumentos**

- Equipo para determinación de Fibra, marca FOSS, modelo Fibertec TM1023, Alemania.
- Set para extracción de grasas Soxhlet, Marca FOSS, Modelo SOXTEC, China.
- Equipo para determinación de proteínas Kjendhal, Marca FOSS, Modelo KjeltectTM8200, Dinamarca.
- Cromatógrafo de gases, marca SHIMADZU, modelo GC-2010 con detector FID y ECD.
- Prensa de aceite (Expeller), marca MOVIMOT SEW, modelo FA57/G

- Módulo de molienda y tamizado, marca COORPORACIÓN JARCON DEL PERÚ, modelo MDMT – 60XL, serie JP 001 1112.
- Secador de bandeja, marca COORPORACIÓN JARCON DEL PERÚ, modelo SBT – 10X10, serie JP 001 01 13.
- Amilógrafo “Amilylograph-e”, marca BRABENDER, modelo 800250, de la E.A.P. Ing. Agroindustria de la UNS.
- Farinógrafo “Farinograph-at”, marca BRABENDER, modelo 810161.001. de la E.A.P. Ing. Agroindustria de la UNS.
- Extensógrafo “Extensograph-E”, marca BRABENDER, modelo 860723. De la E.A.P. Ing. Agroindustria de la UNS.
- Amasadora, marca NOVA, Modelo k23, capacidad 40kg, serie 0528028, de la Planta Piloto de la E.A.P. Ing. Agroindustria de la UNS.
- Cámara de fermentación, marca NOVA, modelo MAX 1000. Capacidad 40 Kg, Serie 0516001, de la Planta Piloto de la E.A.P. Ing. Agroindustria de la UNS.
- Horno rotatorio por convección marca NOVA, modelo MAX 1000, capacidad 40 kg. De la planta piloto de E.A.P. Ing. Agroindustria de la UNS.
- Rebanadora o cortadora de pan, marca NOVA, modelo ESTÁNDAR de la planta piloto de la E.A.P. ing. Agroindustria de la UNS.
- Balanza analítica, marca ADAM, modelo PW-254 de la Planta Piloto E.A.P. Ing. Agroindustria de la UNS.
- Estufa marca Blu-M, modelo SW-17TC-1, serie SW-1990, de la E.A.P. Ing. Agroindustria de la UNS.
- Mufla, marca THERMOLYNE, serie 347034b4, USA.
- Texturómetro, marca BROOKFIELD, modelo CT3 400, USA.
- Balanza de precisión, marca PRECISA, modelo LX220A, Suiza.
- Bioterio (jaulas individuales)
- Colorímetro, marca KONICA MINOLTA, modelo CR-400, Japón.

### **3.3.2. Reactivos**

- Agua destilada
- Solución de hidróxido de sodio (0.1N y 0.01N)
- Etanol (96 °)
- Ácido sulfúrico (96%), para proteínas, Kjendhal.
- Ácido clorhídrico al 0.1 N, 37% (v/v), para proteínas, Kjendhal.
- Ácido bórico 4%
- Rojo de metilo
- Éter de petróleo, para determinación de grasas, FOSS.
- Isooctano, para cromatografía de gases, Merck.
- Boro Triofloruro - Metanol (Complejo) (solución al 20% en Metanol) para síntesis, Merck.
- Isooctano, para cromatografía de gases, Merck.
- Hexano, para cromatografía de gases, Merck.
- Metanol, para cromatografía de gases, Merck.
- Gas N2, Messer.
- Gas He UHP, Messer.
- Gas H2 UHP, Messer.

### **3.3.3. Otros materiales**

- Materiales de vidrio (probeta de 100y 500ml, vaso precipitado de 500 y 1000ml, placa Petri).
- Materiales para prueba sensorial (cabina de degustación, formatos, lapiceros, vasos y platos descartables).
- Moldes de pan (largo x ancho x altura = 29.4 x 10.5x9.9) cm.
- Carrito o coche panadero mesa de acero inoxidable.
- Mesa de acero inoxidable (largo x ancho x altura = 2.5 x 1.9 x 1.5) m.
- Bolsa de polipropileno.

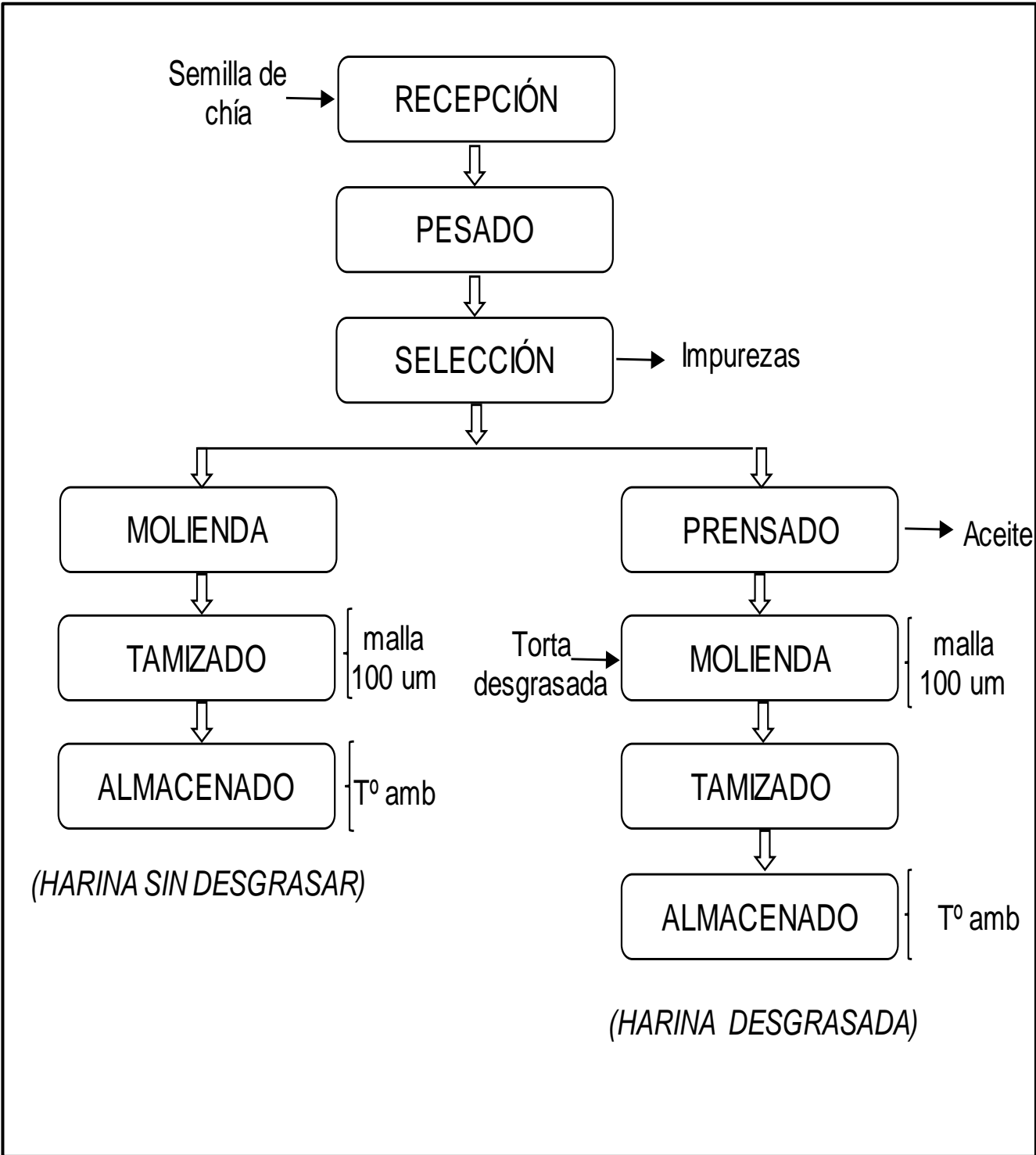
### 3.4. MÉTODOS

#### 3.4.1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE CHÍA

Para obtener la harina de la chía se debe realizar cumpliendo con los requisitos de higiene y saneamiento para generar un producto inocuo y de calidad, con la finalidad de no alterar los datos de investigación.

- **Recepción:** se verificó las condiciones en la que se compró los granos, tales como el estado (entero), humedad y lugar de procedencia.
- **Pesado:** se tomó en cuenta el peso de la materia prima, para determinar rendimientos, además las cantidades aptas según la capacidad de los equipos.
- **Selección:** se separó las impurezas mediante un sistema de ventilación y manual.
- **Molienda:** en este proceso de rotura, la semilla de chía se trituró gradualmente en un molino de discos para facilitar la separación entre el endospermo y pericarpio hasta obtener harina. Los controles de rotura son fundamentales para obtener un nivel equilibrado entre extracción y ceniza.
- **Tamizado:** con este proceso se obtuvo harina con un tamaño de partícula de aproximado de 105  $\mu\text{m}$ . Luego será almacenada en condiciones tales para evitar la alteración (temperatura de ambiente y una humedad controlada).





**Figura 4:** Diagrama para la obtención de la harina de chía desgrasada y sin desgrasar

### **3.4.2. EVALUACIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LAS HARINAS**

Se determinó individualmente tanto para la harina panadera (trigo), harina integral, chíá. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales de la escuela de agroindustria y en laboratorio.

#### **3.4.2.1. Proteínas**

La determinación de la proteína total se realizó según el método por la N.T.P. 205.005:1979 (Revisada el 2011): cereales y menestras. Determinación de proteínas Totales (Método de Kjeldahl), utilizando 6.25 como factor para la mayoría de cereales y 5.70 como factor para el trigo.

#### **3.4.2.2. Humedad**

Para determinar el contenido de humedad de los productos derivados de harina de trigo u otros cereales, semillas se siguió el procedimiento establecido por la norma técnica ITINTEC 205.037 (1974).

#### **3.4.2.3. Cenizas**

Para la determinación del porcentaje de cenizas, es decir el porcentaje de sólidos y minerales en el producto, se procedió según el proceso establecido por la norma técnica ITINTEC NTP 205.038.1975 (Revisada el 2011), llamado método de incineración.

#### **3.4.2.4. Grasas**

La determinación se realizó empleando el método UNE-64021-1970.

#### **3.4.2.5. Ácidos Grasos**

Los ésteres metílicos de ácidos grasos fueron preparados de acuerdo al Método FAMES, AOAC 991.39.

#### **3.4.2.6. Fibra**

La determinación de fibra se determinará según el método NMX-F-090 (1978).

#### **3.4.2.7. Carbohidratos**

Se obtuvo por diferencia restando del 100% la suma de porcentaje de humedad (H), Cenizas (C), grasas (G) y proteínas. Usando la fórmula:

$$\% \text{ de carbohidratos} = 100 - (H+C+G+P)$$

#### **3.4.2.8. Colorimetría**

El colorímetro que provee un valor específico de color basado en la cantidad de luz reflejada fuera de la superficie del producto o transmitida a través del mismo. Se utilizó el sistema Cie-lab (C.I.E. 1986), que define cada color a partir de tres coordenadas denominadas L\*, a\* y b\*.

### 3.4.3. FORMULACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA PAN DE MOLDE INTEGRAL.

#### 3.4.3.1. Ingredientes del pan de molde

El pan integral es una mezcla de 30-40% de harina integral con 60-70% harina de trigo, la capacidad de los moldes es de 0.9 kg (2.0 libras) de la masa para obtener un producto final de 0.82 kg (1.8 libras).

**Tabla 13**

*Formulación de pan de molde integral*

<b>INGREDIENTES</b>	<b>CANTIDAD %</b>
Harina integral	30.0
Mezcla	70.0
Mejorador de masa	1.0
Antimoho	0.3
Sal	2.0
Azúcar	8.0
Leche en polvo	2.0
Agua	50.0
Levadura seca	2.0
Emulsionador	1.0
Manteca	10.0

*Fuente: Elaboración propia*

#### 3.4.3.2. Diseño de experimental

El diseño utilizado fue el diseño de mezclas, en donde los ingredientes o componentes de una mezcla, son factores experimentales a ser estudiados. En la tabla 14 se observa los valores máximos y mínimos de cada harina utilizada en las mezclas y en la tabla 15 se observa las 12 mezclas establecidas por el diseño de mezclas del programa STATGRAPHICS CENTURION XVI.

**Tabla 14**  
*Límites bajos y altos de las harinas*

<b>COMPONENTES</b>	<b>BAJO</b>	<b>ALTO</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Harina de trigo</b>	85	100	Porcentaje
<b>Harina de chía</b>	0	15	Porcentaje

**Tabla 15**  
*Diseño de mezclas establecida por el diseño de mezclas del programa STATGRAPHICs CENTURION XVI*

<b>Tratamientos</b>	<b>Harina de trigo (%)</b>	<b>H. de chía SD (%)</b>	<b>H. de chía D (%)</b>	<b>Total</b>
<b>T1</b>	100	0	0	100
<b>T2</b>	95.0	5.0	0	100
<b>T3</b>	92.5	7.5	0	100
<b>T4</b>	90.0	10.0	0	100
<b>T5</b>	87.5	12.5	0	100
<b>T6</b>	85.0	15.0	0	100
<b>T7</b>	100	0	0	100
<b>T8</b>	95.0	0	5.0	100
<b>T9</b>	92.5	0	7.5	100
<b>T10</b>	90.0	0	10.0	100
<b>T11</b>	87.5	0	12.5	100
<b>T12</b>	85.0	0	15.0	100

#### **3.4.4. ANÁLISIS REOLÓGICO**

Para los ensayos reológicos se necesitó un total de 700 g de harina para realizar los análisis amilográficos, farinográficos y extensográficos.

En esta investigación el 70% fue de la mezcla de las dos harinas a estudiar (harina de trigo y harina de chía) y el 30% fue la harina integral (constante en todo los tratamientos o ensayos).

$$\text{Mezcla de harinas} = \frac{70}{100} * 700 \text{ g} = 490 \text{ g}$$

$$\text{Harina integral} = \frac{30}{100} * 700 \text{ g} = 210 \text{ g}$$

La formulación de la mezcla se realizó según los porcentajes obtenidos del diseño experimental. En la Tabla 16 siguiente se muestra las cantidades de harinas que se necesitó para los análisis reológicos.

**Tabla 16**

*Formulación de las harinas para los análisis reológicos (700 g)*

Tratamientos	Mezcla de las harinas (490g)		Harina integral (210 g)	Total de formulación (g)
	Harina de trigo (g)	Harina de chía D ó SD (g)		
1	490.00	0.0	210	700
2	465.50	24.50	210	700
3	453.25	36.75	210	700
4	441.00	49.00	210	700
5	428.75	61.25	210	700
6	416.50	73.50	210	700

#### **3.4.4.1. Análisis Amilográfico**

Los métodos estándares para los test con el manejo del Amilógrafo-E, están basados en una muestra con el 14% de humedad. No obstante, como la humedad de la muestra real puede apartarse ligeramente de este valor, es necesario medir el contenido de humedad de las muestras a estudiar. Para así, determinar los valores reales de la muestra y la cantidad de agua para el test. Para esta investigación se empleó el método AACC N°22-10(2000).

#### **3.4.4.2. Análisis Farinográfico**

El farinógrafo mide el volumen de agua absorbida por la harina a fin de conseguir una masa de consistencia predeterminada. Se realizó la representación gráfica de la consistencia de la masa frente al tiempo.

Según el método AACC N°54-21(2000). El farinógrafo nos permite medir el nivel de hidratación de la harina y su comportamiento durante el amasado.

El farinógrafo mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para la mezclarla a una velocidad constante y la absorción del agua necesaria para alcanzar esta consistencia. El principio de la medida se basa en el registro de la resistencia que la masa opone a una acción mecánica constante bajo condiciones de ensayos fijados. Tal resistencia se presenta sobre un diagrama de esfuerzo-tiempo a partir del momento de la formación de la masa y durante todo el periodo de la prueba.

#### 3.4.4.3. Análisis Extensográfico

El Extensograph - E, es un instrumento diseñado para medir la extensibilidad y resistencia de expansión masa. El método de medición con el Extensograph - E, está determinado por estándares internacionales y nacionales (por ej. Estándar ICC N<sup>a</sup> 114/1, ISO 5530-2, estándar A.ACC 300) Además existen métodos levemente modificados. Para esta investigación se empleó el método AACC N°54-10(2000)

#### 3.4.5. CÓMPUTO QUÍMICO DE LAS FORMULACIONES

Para realizar el cómputo químico de aminoácidos se utilizó el patrón para el grupo de adultos (mayores de 18 años), según FAO 2007.

$$CQ = \frac{\text{mg de a. a en 1g de N de la proteína del alimento}}{\text{mg de a. a en 1g N de la proteína de referencia}}$$

El score químico o computo químico se expresó como la cantidad (mg) de aminoácido esencial por gramo de la proteína en estudio en relación con la cantidad del mismo compuesto en la proteína de referencia (g), es decir, el patrón aminoácido establecido. El resultado se expresó de manera porcentual. El valor más bajo que corresponde al score y el aminoácido que lo produce se denomina "primer limitante". El valor obtenido para cada aminoácido mayor a 100% expresa una proteína completa.



### 3.4.6. PRODUCCIÓN DE PAN DE MOLDE INTEGRAL.

El método que se utilizará para la elaboración del pan de molde es el de masa directa.

**Tabla 17**

*Formulación para la elaboración del pan de molde integral (3000g)*

<b>INGREDIENTES</b>	<b>0:100</b>	<b>5 : 95</b>	<b>7.5:92.5</b>	<b>10 : 90</b>	<b>12.5:87.5</b>	<b>15 : 85</b>
<b>Harina de trigo integral (g)</b>	900	900	900	900	900	900
<b>Harina de trigo panadero (g)</b>	2 100	1 995	1 943	1 890	1 838	1 785
<b>Harina de chía (g)</b>	0	105	158	210	263	315
<b>Mejorador de masa (g)</b>	30	30	30	30	30	30
<b>Antimoho (g)</b>	9	9	9	9	9	9
<b>Sal (g)</b>	60	60	60	60	60	60
<b>Azúcar (g)</b>	240	240	240	240	240	240
<b>Agua (g)</b>	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500
<b>Leche en polvo (g)</b>	60	60	60	60	60	60
<b>Levadura seca (g)</b>	60	60	60	60	60	60
<b>Emulsionador (g)</b>	30	30	30	30	30	30
<b>Manteca (g)</b>	300	300	300	300	300	300



**Figura 5:** Diagrama de la elaboración del pan de molde

### 3.4.6.1. Recepción

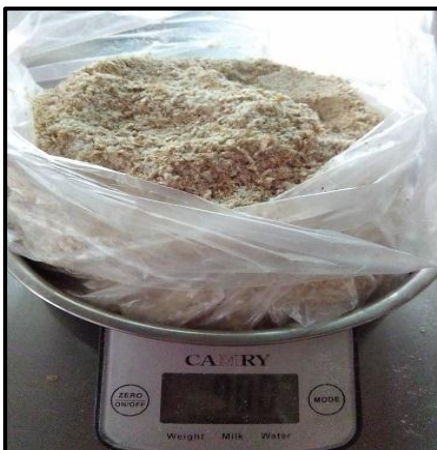
Se recibió la materia prima e insumos en el área de proceso, a la cual se deberá evaluar debidamente su calidad y verificación de fecha de vencimiento.



*Figura 6: Recepción de la materia prima e insumos*

### 3.4.6.2. Pesaje

Se realizó de acuerdo con las cantidades establecidas en la formulación para cada producto, este pesaje se realizó lo más preciso posible, para evitar productos defectuosos y que pueden alterar los resultados de la investigación. En la Tabla 17 se presentó la formulación para todos los tratamientos a investigar.



*Figura 7: Pesado de la materia prima e insumos.*

### 3.4.6.3. Amasado

El método usado fue el de masa directa, en donde se colocaron los ingredientes en la amasadora, el tiempo fue aproximadamente de 5 min y luego se monitoreó hasta la formación de la red proteica (gluten o formación del punto liga) el cual indica que la masa esta lista.



*Figura 8: Amasado de insumos.*



*Figura 9: Formación del punto de liga.*

### 3.4.6.4. División o corte

La masa fue dividida en porciones de 650 gr. Para tener una mayor superficie de contacto con la temperatura ambiente.



*Figura 10: División de la masa.*

#### **3.4.6.5. Boleo y reposo**

Con cada porción de masa se hace una bola compacta, este paso del boleado se realizó manualmente y se realiza presionando la masa con la palma de la mano en forma circular. Esto se hace con el fin de que los trozos de masa reposen antes de ser formados por un tiempo de 20 minutos.



*Figura 11: Boleado y reposo de la masa.*

#### **3.4.6.6. Moldeado**

Cada bola de masa se extendió con un rodillo, se procedió a dar la forma del pan de molde e introducirlo a los moldes previamente untados de manteca.



*Figura 12: Moldeado de la masa.*

#### **3.4.6.7. Fermentación**

Las masas fueron colocadas en la cámara de fermentación con temperatura de 31°C y 69% de HR, con tiempo de duración de aproximadamente 75min.



*Figura 13: Fermentación de la masa.*

#### **3.4.6.8. Horneado**

Para el horneado se utilizó un horno industrial con capacidad para 18 bandejas, una vez encendido el horno es necesario esperar a que este alcance la temperatura adecuada. Finalmente los panes se colocaron en el horno a una temperatura de 140°C y un tiempo de 45 minutos.



*Figura 14: Horneado del pan de molde.*

#### **3.4.6.9. Enfriamiento**

Se realizó a temperatura ambiente por un lapso aproximadamente de dos horas, no todos los tipos de pan se empacan pero cuando se hace no se deben empacar panes aun calientes (27-30°C) y no empacar en polietilenos que contengan polímeros tóxicos.



*Figura 15: Horneado del pan de molde.*

#### **3.4.6.10. Rebanado y embolsado**

Una vez alcanzado la temperatura de 27- 30°C se procedió a rebanar los panes de molde, para ello se utilizó la

rebanadora o cortadora de pan. Los panes se embolsaron en bolsas de polipropileno.



*Figura 16: Rebanado y embolsado del pan de molde.*

#### **3.4.6.11. Almacenado**

Los productos fueron mantenidos en condiciones normales de almacenamiento a temperatura ambiente, hasta la utilización.



### **3.4.7. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL PAN DE MOLDE**

#### **3.4.7.1. Proteínas**

La determinación de la proteína total se realizó según el método por la NTP N° 205.005:1979 (Revisada el 2011): cereales y menestras. Determinación de proteínas Totales (Método de Kjeldahl), utilizando 6.25 como factor para la mayoría de cereales y 5.70 como factor para el trigo.

#### **3.4.7.2. Humedad**

Para determinar el contenido de humedad de los productos derivados de harina de trigo u otros cereales, semillas se siguió el procedimiento establecido por la norma técnica NTP 205.037 (1995).

#### **3.4.7.3. Cenizas**

Para la determinación del porcentaje de cenizas, es decir el porcentaje de sólidos y minerales en el producto, se realizó según el proceso establecido por la norma técnica ITINTEC 205.038 (1974), llamado método de incineración.

#### **3.4.7.4. Grasas**

La determinación se realizó empleando el método UNE-64021(1970).

#### **3.4.7.5. Ácidos grasos por Cromatografía de gases**

Los esteres metílicos de ácidos grasos fueron preparados de acuerdo al Método FAMES, AOAC 991.39.

#### **3.4.7.6. Fibra**

La determinación de fibra se determinó según el método NMX-F-090 1978.

#### **3.4.7.7. Carbohidratos**

Se obtuvo por diferencia restando del 100% la suma de porcentaje de humedad (H), Cenizas (C), grasas (G) y proteínas. Usando la fórmula:

$$\% \text{ de carbohidratos} = 100 - (H+C+G+P)$$

#### **3.4.8. Análisis fisicoquímicos del pan de molde**

##### **3.4.8.1. Volumen específico**

El volumen del producto se encontró por el método de desplazamiento de semillas de baja densidad (alpiste), aproximadamente una hora después del horneado. El recipiente que se utilizó para el cálculo fue de plástico, luego se determinó el volumen de las semillas desplazadas o no utilizadas por medio de una probeta, siendo éste el volumen del pan, para promediar el volumen del pan se utilizó todas las repeticiones de dicho tratamiento (Alvares & Tucsa, 2009). Para obtener el volumen específico se divide entre la masa del pan de molde.

##### **3.4.8.2. Textura**

La textura del pan de molde integral se refiere al grado de elasticidad o blandura, para este análisis se utilizó el texturómetro de marca BROOKFIELD.

##### **3.4.8.3. Colorimetría de la corteza y miga**

El colorímetro que provee un valor específico de color basado en la cantidad de luz reflejada fuera de la superficie del producto o transmitida a través del mismo. Se utilizó el sistema Cie-lab (C.I.E. 1986), que define cada color a partir de tres coordenadas denominadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

### **3.4.9. ANÁLISIS SENSORIAL DEL PAN DE MOLDE**

Los panes de molde integral fueron evaluados por 30 jueces o panelistas no entrenados de ambos sexos y mayores de 18 años. Pertenecientes a la universidad nacional del Santa (trabajadores, profesionales y estudiantes), con el fin de conocer el grado de aceptación de los panes de molde integral. Las características a evaluar fueron: olor, color, sabor, textura y aceptación en general.

Para la evaluación sensorial se diseñó una ficha, conteniendo las 5 características a evaluar, así mismo estas características tuvieron 7 alternativas con su respectivo puntaje (1= Me disgusta mucho, 4= No me gusta ni me disgusta y 7= Me gusta mucho). La ficha usada para la evaluación sensorial se encuentra en el ANEXO V. El panelista solo escoge una sola alternativa para cada característica.

### **3.4.10. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL PAN DE MOLDE**

La vida útil se determinó de las mejores formulaciones elegidas de acuerdo con la calidad nutricional del pan de molde y el análisis sensorial (aceptabilidad general) el cual lo realizaron 10 panelistas semi - entrenados.

Para determinar el tiempo de vida útil se utilizó el método matemático según Labuza (1999):

1. Determinar las sumatorias de  $x$  e  $y$  de datos experimentales.

$$\sum x = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n \dots\dots\dots (2)$$

2. Determinar los promedios

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n} \dots\dots\dots (3)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \dots\dots\dots (4)$$

3. Determinar las

$$\sum X^2 \quad Y \quad \sum Y^2$$

4. Determinar la

$$\sum XY$$

5. Determinar

$$\begin{aligned} \sum (X - Xp)^2 &= S_{XX} \\ \sum (X - Xp)(Y - Yp) &= S_{XY} \\ \sum (Y - Yp)^2 &= S_{YY} \end{aligned}$$

6. Determinar los datos de regresión b0 y b1 (coeficiente y pendiente)

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 x \dots\dots\dots(5)$$

$\hat{y}$ -y estimando dado un X dado.

7. Luego fijar los datos experimentales de Y en f(x) con la ecuación (5).

DATOS EXP.	DATOS EXP.	DATOS AJUSTADOS	ERROR EXP.
X	Y	$\hat{Y} = b_0 + b_1 X$	$(Y - \hat{Y})(Y - \hat{Y})^2$
$X_1$	$Y_1$	$\hat{Y}_1$	$(Y_1 - \hat{Y}_1)(Y_1 - \hat{Y}_1)^2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
$X_n$	$Y_n$	$\hat{Y}_n$	$(Y_n - \hat{Y}_n)(Y_n - \hat{Y}_n)^2$

$$Sse = \sum (y - \hat{Y}_n)^2 \dots\dots\dots (6)$$

**Dónde:**

Sse = Sumatoria de los cuadrados de errores experimentales.

8. Determinar el cuadro medio del error MSe

$$MSe^2 = \frac{1}{(n-2)} Sse = Se^2$$

$$\sqrt{MSe} = S = \frac{1}{(n-2)} Sse \dots\dots\dots (7)$$

9. Luego para determinar la vida útil.

$$X = \frac{(Y - b_0)}{b_1}$$

10. Para hallar los intervalos de confianza, para una regresión lineal del estimado  $b_0 + b_1x$ . los intervalos de líneas rectas han sido consideradas. Para obtener (1-a) 100% nivel de confianza de intervalos Lineales Graybill y Bowden sugieron lo siguiente:

$$b_0 + b_1 x \pm Sdx \left[ \frac{1}{\sqrt{n}} + \frac{x - \bar{x}}{\sqrt{S_{xx}}} \right]$$

Donde  $d_\alpha$  se encuentra en la tabla  $t$ ;  $|x - \bar{x}|$  significa que la diferencia de  $(x - \bar{x})$  es siempre positivo.

### 3.4.11. EVALUACIÓN BIOLÓGICA

#### 3.4.11.1. Digestibilidad Aparente

Se utilizó jaulas metabólicas individuales de acero inoxidable, con comederos y bebederos de vidrio. Siendo la característica principal de estas jaulas un sistema especial que permite colectar las heces y orina separadamente.

Por cada tratamiento se empleó dos ratas Holtzman machos que se colocaron al azar en las jaulas metabólicas individuales.

Se tuvo un periodo de adaptación por cuatro días en los que se alimentó con 10g de afrecho, luego a partir del quinto día se les suministró 10g de nuestro producto con 10 mg de rojo carmín (solo el primer día) durante 6 días de evaluación.

Se registró el peso diario y el consumo de alimento diario en forma individual, así como la excreción de heces.

Con los registros de la recolección de datos se determinó el coeficiente de digestibilidad, que se presenta por la siguiente fórmula:

$$\%D.A = \frac{N_{ingerido} - N_{excretado}}{N_{ingerido}} \times 100$$

### **3.4.11.2. Valor biológico**

Se utilizó jaulas metabólicas individuales de acero inoxidable, con comederos y bebederos de vidrio.

Por cada tratamiento se empleó dos ratas Holtzman machos que se colocaron al azar en las jaulas metabólicas individuales.

Se tuvo un periodo de adaptación de cuatro días en los que se alimentó con 10g de afrecho, luego a partir del quinto día se les suministró 10g de nuestro producto con 10 mg de rojo carmín (solo el primer día) durante 6 días de evaluación.

Se registró el peso diario y el consumo de alimento diario en forma individual, así como la excreción de heces.

La orina se recolectó diariamente en tubos de ensayo, a cada tubo de ensayo se le agregará 0.5ml de tolueno y se guardará en refrigeración. Se agregó 100g de timol (solo el primer día) al frasco donde se recolectó la orina de todos los días.

Con los registros de la recolección de datos se determinó el valor biológico, mediante la siguiente fórmula:

$$\%VB = \frac{N_{ingerido} - (N_{excretado} + N_{urinario}) \times 100}{N_{ingerido} - N_{excretado}}$$

### 3.4.11.3. Relación de eficiencia proteica (PER)

Se realizó utilizando metálicas, con comederos y bebederos de vidrio.

Por cada tratamiento se empleó dos ratas Holtzman machos que se colocaron al azar en las jaulas metabólicas individuales.

Se tuvo un periodo de adaptación de cuatro días en los que se alimentó con 10g de afrecho, luego a partir del quinto día se les suministró 15 g de nuestro producto con 10 mg de rojo carmín (solo el primer día) durante 28 días que duró la evaluación.

Se registró el peso diario del animal, el consumo de alimento diario en forma individual y los desperdicios de alimento. También se registró el peso de las heces excretadas.

Con los registros de la recolección de datos se determinó la Eficiencia proteica, mediante la siguiente fórmula:

$$PER = \frac{\text{Peso Ganado (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

\*Peso ganado =  $\text{Peso}_{\text{final}} - \text{Peso}_{\text{inicial}}$

\*Proteína consumida =  $\text{Proteína}_{\text{producto}} - \text{Proteína}_{\text{heces}}$



### **3.4.11. Procesamiento y análisis estadísticos de los datos**

Las técnicas de recolección de información que se utilizará en el presente trabajo son las evaluaciones del comportamiento reológico de mezcla de las harinas, composición de química proximal, colorimetría y análisis sensorial del pan de molde integral.

Los instrumentos de recolección de información que se utilizará son el cuaderno de notas, reportes de los equipos de reología, reportes de colorimetría y las hojas de evaluación sensorial. Para el procesamiento de la información obtenida, se utilizará el paquete informático Microsoft Office a través de los programas Word y Excel en el que se analizó las tablas y resultados obtenidos durante la fase experimental. Para el análisis (ANOVA) del diseño experimental se realizó con el diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 6 y se empleó el paquete estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVI, con un nivel de significancia o confiabilidad de 95%.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE CHÍA

#### 4.1.1. HARINA DE CHÍA SIN DESGRASAR

La harina de chía sin desgrasar se obtuvo moliendo la semilla de chía directamente, se molió 1.5 Kg y se obtuvo 1.475 Kg, con un rendimiento de 98.27%.

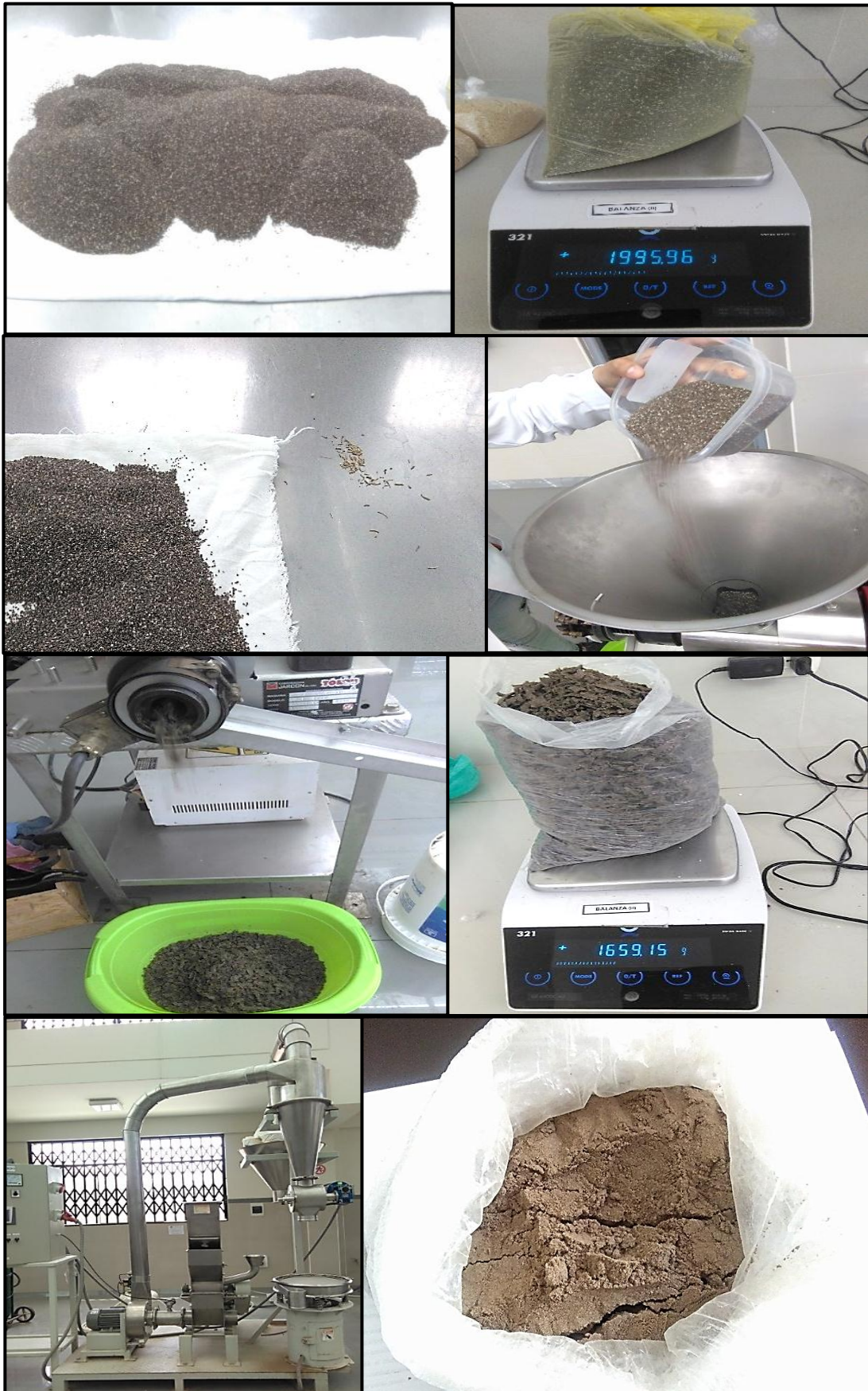


*Figura 17: Harina de chía sin desgrasar.*

#### 4.1.2. HARINA DE CHÍA DESGRASADA

La harina de chía desgrasada se obtiene extrayendo el aceite de la semilla mediante el Expeller y posteriormente moliendo la torta desgrasada de chía. Se colocó 2 kg de semillas de chía y se obtuvo 1.659 Kg. de torta desgrasada, mostrando un rendimiento de 82.95%. Posteriormente se procedió a la molienda donde se obtuvo 1.642 Kg (98.98%), con lo que se obtuvo un rendimiento total de 82.10%.

Según Vázquez, et al., (2010), por cada kilogramo de semilla de chía que se muele se obtiene 998 gramos de harina, mostrando rendimiento óptimo del producto.



**Figura 18:** Obtención de la harina de chía desgrasada. (1: Recepción, 2: Pesado, 3: Selección, 4y5: Prensado, 6: Torta desgrasada, 7: Molienda y Tamizado, 8: Harina desgrasada de chía)

## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS

### 4.2.1. EVALUACIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LAS HARINAS

#### 4.2.1.1. Harina de Trigo

Los resultados obtenidos de la evaluación químico proximal para la harina integral y la harina de trigo se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 18**

*Composición porcentual (%) de la harina de trigo y la harina integral.*

<b>COMPONENTES (%)</b>	<b>Harina de trigo</b>	<b>Harina integral</b>
<b>Humedad</b>	14.35 ± 0.01	14.18 ± 0.19
<b>Proteína</b>	10.61	12.46
<b>Cenizas</b>	0.61 ± 0.01	1.64 ± 0.03
<b>Grasa</b>	0.98 ± 0.03	1.92 ± 0.35
<b>Fibra</b>	1.41 ± 0.02	8.12 ± 0.02
<b>Carbohidratos</b>	72.04	61.76

El porcentaje de contenido de humedad para la harina de trigo es de 15% como máximo de acuerdo a la NTP 205.064:2015 y de 15.5% como máximo según lo establecido por el Codex Alimentarius 152-1985 (Revisada el 2016). La humedad de la harina de trigo presente en la

Tabla 18 es de 14.35% y cuyo valor está dentro de los límites aceptables de acuerdo a las Normas presentadas.

Así mismo la harina integral presenta un valor de humedad de 14.18% que se encuentra en el rango (14.5%) permitido según Codex Alimentarius 178-1991. La humedad es un factor importante ya que valores superiores a los límites establecidos influyen en la conservación de la calidad siendo uno de los principales factores de aceleración de reacciones químicas, enzimáticas y crecimiento de microorganismos.

El contenido de proteínas de la harina de trigo es de 10.61% siendo superior al valor mínimo de 7% establecido por la norma del Codex Alimentarius 152-1985 (Revisada el 2016). Para la harina integral se obtuvo un valor de 12.46% ligeramente superior al 11% como mínimo establecido según Codex Alimentarius 178-1991. La harina de trigo integral contiene más proteínas y gluten que la harina de trigo blando y tiene una capacidad mayor para absorber agua.

Para la harina de trigo el nivel de grasa es de 0.98% mientras que para la harina integral es de 1.92% valores cercanos a lo reportado por Astiz et al. (2015) que obtiene valores de grasa entre 0.94% y 1.11%, mientras que Salas y Haros (2016) reportan valores de 1.37% (Harina de trigo) y 1.68% (Harina Integral).

Con respecto al contenido de ceniza se obtuvo 0.61%, lo cual cumple con la NTP 205.064:2015 que para la harina de trigo estipula un valor máximo de 0.75%, así mismo se obtuvo 1.64% para la harina integral y según la norma del Codex Alimentarius 178-1991 su valor máximo es de 1.75%. La ceniza es una medida importante para la calidad de la

harina, debido a que normalmente harinas con altos valores de ceniza presentan coloraciones más oscuras.

El contenido de carbohidratos y fibra en la harina de trigo fue de 72.04% y 1.41%, valores cercanos a lo reportado en su estudio Astiz et al. (2015) que indican contenido de carbohidratos entre 74.62% y 76.14% y contenido de fibra de 1.15%. Mientras que la harina integral presenta valores de 62.26% de carbohidratos y 8.12% de fibra, valor cercano al 8.3% de fibra reportado en su artículo por Salas y Haros (2016).

La importancia de utilizar la harina integral en el proceso de panificación es debido a que al tener un alto grado de extracción, por conservar la cubierta, el germen y la capa de aleurona y al no haber sido sometido el grano a un proceso de refinado, aporta mayor cantidad de proteínas, grasas (aceite en el germen), minerales, vitaminas del grupo B particularmente de ácido fólico), pero sobre todo de fibra. Precisamente el mayor aporte en fibra resulta positivo para el organismo al favorecer el tránsito intestinal.

#### **4.2.1.2. Harina de chía sin desgrasar**

Los resultados obtenidos de la evaluación químico proximal para la harina de chía sin desgrasar se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 19***Análisis proximal de la Harina de chía sin desgrasar*

<b>COMPONENTES</b>	<b>%</b>
<b>Humedad</b>	7.25 ± 0.01
<b>Proteína</b>	18.73
<b>Cenizas</b>	4.28 ± 0.02
<b>Grasa</b>	32.51 ± 0.02
<b>Fibra</b>	24.08 ± 0.13

En la Tabla 19 observamos un contenido de humedad de 7.25% ligeramente superior a valores de 5.28% y 6.2% reportados por Alvarado (2011) y Jiménez et al. (2013).

Con respecto al contenido de proteínas en nuestro estudio encontramos un 18.73% valor cercano al que presentan el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA (2012) quien reporta un valor de 17.2% y Capitani (2013) que nos manifiesta que la chía posee entre el 19% y 23% de proteínas, nivel que resulta más alto que el que contienen los cereales tradicionales como el trigo (13,7%), maíz (9,4%), arroz (6,5%), avena (16,9%) y cebada (12,5%), presentando como ventaja adicional el no contener gluten, motivo por el cual ha sido aprobada por la Asociación Celíaca Argentina como apta para su uso en pacientes celíacos. Así mismo Ayerza y Coates (2011) manifiestan que se ha demostrado que la chía puede incorporarse a la dieta humana junto con otros granos a fin de producir un balance de proteínas más equilibrado.

Los valores encontrados para ceniza y grasa fue de 4.28% y 32.51% respectivamente y que podemos comparar con otros

estudios que reportan valores similares para ceniza (5.24% y 4.5%) y grasa (29.82% y 33.5%) según Alvarado (2011) y Ayerza y Coates (2011). El valor elevado de grasa se debe a que no se realizó ningún tratamiento, solo se molió la semilla de chía, por lo tanto los valores se asemejan al grano entero.

El contenido de fibra encontrado es de 24.08%. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA (2012) muestra un valor de 28.32% de fibra dietética total mientras que Capitani (2013) entre 18 y 30%, lo que permite apreciar que la chía tiene 1,6%; 2,3%; 2,6%; 8,3% y 9,8% veces más contenido de fibra dietética que la cebada, trigo, avena, maíz y arroz, respectivamente.

#### 4.2.1.3. Harina de chía desgrasada

Los resultados obtenidos de la evaluación químico proximal para la harina de chía desgrasada se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla 20**

*Análisis proximal de la Harina de chía desgrasada*

<b>COMPONENTES</b>	<b>%</b>
<b>Humedad</b>	5.6 ± 0.01
<b>Proteína</b>	24.27
<b>Cenizas</b>	4.93 ± 0.02
<b>Grasa</b>	8.01 ± 0.02
<b>Fibra</b>	32.32 ± 0.09



El resultado de humedad presente en la Tabla 20 es de 5.6% y es conforme al Reglamento Bromatológico Uruguayo (2015) que establece un contenido máximo de humedad de 9 para la harina de chía desgrasada.

Se obtuvo 24.27% de proteínas de la torta desgrasada de chía valor similar al 24.11% obtenido por Segura (2014) y superior al 20% por Reglamento Bromatológico Uruguayo (2015) pero inferior a lo reportado por Capitani (2013) quien obtiene valores entre 35% y 41.4%, esto puede deberse a las diferentes variedades existentes así como al método utilizado en la extracción en nuestro caso es prensado y la harina que se obtuvo es parcialmente desgrasada.

En cuanto al contenido de cenizas, la torta presenta un valor 4.93% cuyo resultado encontrado es similar a lo reportado por Hurtado (2013) con 5.19% y Segura (2014) con 4.58%, por el contrario menor a lo encontrado por Capitani (2013) quien obtuvo valores entre 6.3% y 7.8%. Esto se debe a la presencia de minerales como el hierro, según resultados de Mondragón (2011) del análisis bromatológico a la torta desgrasada de chía, donde reportó 4.18mg Fe/100g.

La composición lipídica en la torta presenta un valor de 8.01%, siendo una fracción importante y no mayor al 10%. El contenido de grasa para la torta en este estudio es ligeramente menor a lo reportado por Capitani (2013) que obtuvo 11.4% para la harina desgrasada por prensado y mayor al 0.2% para la harina desgrasada por solvente, estas diferencias encontradas se podrían atribuir a diferencias varietales y climáticas de la muestra en estudio, así como al proceso de extracción de aceite.

Según el Reglamento Bromatológico Uruguayo (2015) el contenido de fibra mínimo es de 35% similar al 38.71% obtenido por Bravo y Ortega (2017) mientras que Capitani (2013) obtiene un 23.8% (mediante extracción por solvente), valor similar obtenido por nosotros que fue de 32.32%.

La harina de chía desgrasada posee una cantidad considerable de fibra y es importante debido a que contiene fibra soluble que aumenta la duración del tránsito intestinal, demora el vaciamiento gástrico y retarda el índice de absorción de glucosa, reduciendo por lo tanto la absorción de colesterol. Estas acciones disminuyen la glucosa en sangre luego de la ingestión de alimentos y las concentraciones de colesterol total y LDL. Además distintos grupos médicos y nutricionistas recomiendan el consumo de 25gr de fibra dietaria por día, siendo deseable un rango de 20 a 35 gr de fibra tanto soluble como insoluble (Arroyo, 2011) valor que la chía solo en 100g de porción comestible superar este valor.

#### 4.2.2. COLORIMETRÍA DE LAS HARINAS

Los resultados del análisis del color de las harinas de trigo, chía desgrasada y sin desgrasar se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 21**

*Análisis de colorimetría de las harinas.*

MUESTRA	a*	b*	L* Luminosidad	C* Cromaticidad	h° Angulo de Tonalidad
Harina de Trigo	-1.46±0.06	11.98±0.02	97.46±0.05	12.07	83.05
H. Chía Desgrasada	1.37±0.05	9.05±0.06	18.07±0.07	8.29	76.52
H. Chía sin Desgrasar	1.97±0.04	9.45±0.08	18.36±0.07	9.65	78.22

En la tabla 21, observamos que para la harina de trigo, el valor presentado de b\* es de 11.98 lo que muestra una tendencia al color amarillo y en a\* de -1.46 una ligera tendencia al color verde, la luminosidad (L\*) presentó un valor de 97.46 que nos indica que tiene tendencia al color blanco, el ángulo de tonalidad (h°) presento un valor de 83.05 que corresponde al primer cuadrante de las coordenadas de color (rojo- amarillo), con una tendencia más al amarillo mientras que la cromaticidad (C\*) presento un valor de 12.07. Las harinas de trigo de buena calidad zona aquellas que presentan un color blanco amarillento mientras que las de mala calidad tienen una inclinación blanco empañado a rojizo, de lo cual podemos reafirmar según nuestros resultados que nuestra harina de trigo se presenta como una harina de buena calidad.

CANIMOLT (2015) nos dice que la colorimetría es realizada para determinar la blancura/pureza de la harina, la cual puede verse afectada por el grado de contaminación de salvado en la harina durante la molienda (separación del endospermo del salvado), la medición de color también varía dependiendo de algún tratamiento que reciba la harina, debiéndose a blanqueamiento por químicos u oxidación natural de los pigmentos carotenoides con respecto al tiempo.

Con respecto a la harina de chía sin desgrasar podemos observar que el valor observado de  $b^*$  (9.45) que presenta una tendencia al color amarillo y en  $a^*$  (1.97) con ligera tendencia al color rojo; la luminosidad ( $L^*$ ) presentó un valor de 18.36 lo que nos indica que tiene un color semi-oscuro, el ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) de 78.2 que corresponde al primer cuadrante de las coordenadas de color (rojo - amarillo), con una tendencia más al amarillo mientras que la cromaticidad( $C^*$ ) presentó un valor de 9.65.

La harina de chía desgrasada presentó valores similares a la sin desgrasar en la investigación, se reportó un valor de  $b^*$  de 9.05 y de  $a^*$  de 1.37, mostrando tendencia al color rojo; la luminosidad ( $L^*$ ) presentó un valor de 18.07 lo que nos indica que tiene un color semi-oscuro, el ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) de 76.52 que corresponde al primer cuadrante de las coordenadas de color (rojo - amarillo), con una tendencia ligera al amarillo y mientras que la cromaticidad ( $C^*$ ) presentó un valor de 8.29. Valores un poco cercanos de color de harina desgrasada de chía reportaron Bravo y Ortega (2017) en su investigación quienes obtuvieron un  $a^*$  de 2.38,  $b^*$  de 13.53,  $L^*$  de 38.29,  $C^*$  de 13.73 y un  $h^\circ$  de 80.01 respectivamente.

La variabilidad del color de la harina de se verá afectada por variables como el genotipo del trigo, extracción de la harina,

acondicionamiento del grano de trigo antes de la molienda, el tamaño de partícula, el almacenamiento, así como por el contenido de ceniza de la harina, y a menudo afecta el color del producto terminado manifiesta Ronquillo (2012). Así mismo, este color oscuro es debido a que los granos empleados en la investigación son color marrones oscuro, aunque es ligeramente menor el de la chía desgrasada podemos atribuirle a que la harina sin desgrasar es obtenida solo con la molienda mientras que la harina de chía desgrasada se obtuvo por un prensado.

#### 4.2.3. ANÁLISIS REOLÓGICO DE LAS HARINAS

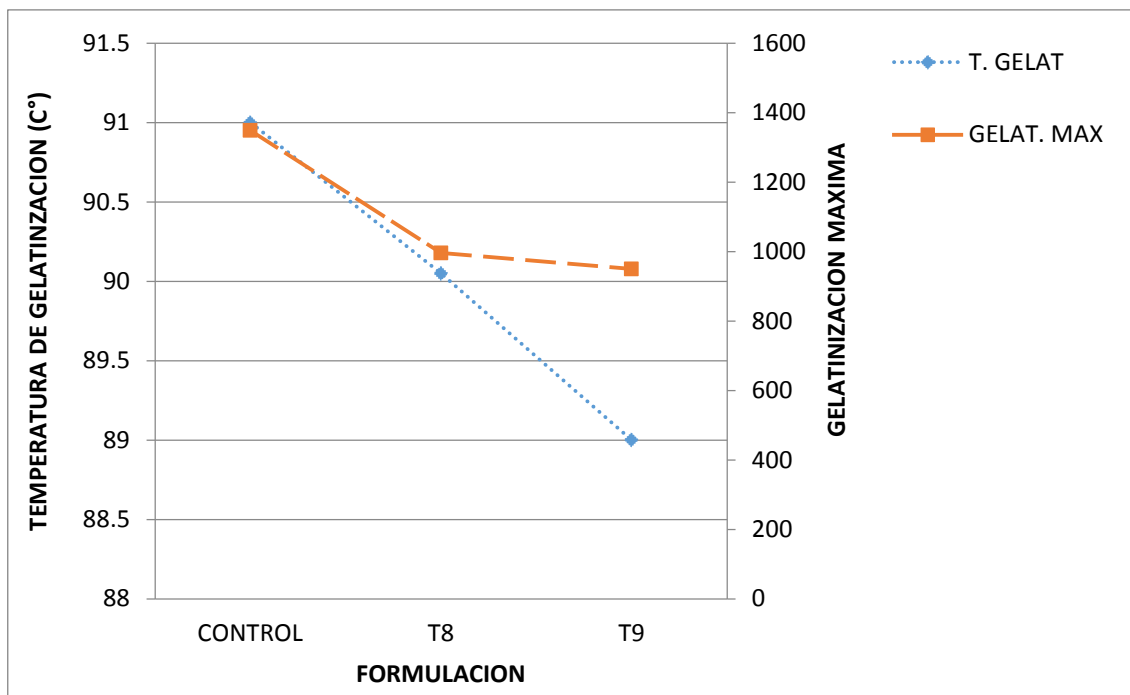
##### 4.2.3.1. Amilografía

El amilograma nos indica etapas bien marcadas: la del calentamiento a temperatura constante y de enfriamiento, lo que nos permite una evaluación de la viscosidad, gelatinización y el fenómeno de retrogradación de las harinas.

**Tabla 22**

*Resumen de los tratamientos analizados por el amilograma.*

Tratamiento	H. Trigo (%)	H. Chía D (%)	Inicio de Gelatinización (°C)	Temperatura de Gelatinización (°C)	Máximo de Gelatinización (AU)
<b>CONTROL</b>	100	0	62.1	91.0± 0.32	1349±0.89
<b>T8</b>	95.0	5.0	62.4	90.5±0.49	996±1.02
<b>79</b>	92.5	7.5	62.3	89.0±0.97	950±1.52



TG = Temperatura de gelatinización; GM = Gelatinización máxima

**Figura 19:** Gráfica de características amilográficas.

Los resultados para el inicio de gelatinización se muestran en la Tabla 22, para el control (100% harina de trigo) fue de 62.1°C, mientras que el T8 (95.0% harina de trigo + 5.0% torta desgrasada de chía) fue de 62.04°C y de 62.3°C para el T9 (92.5 % harina de trigo + 7.5% torta desgrasada de chía). Esto se debe a que la temperatura de inicio de gelatinización depende de la concentración de almidón que presente la mezcla.

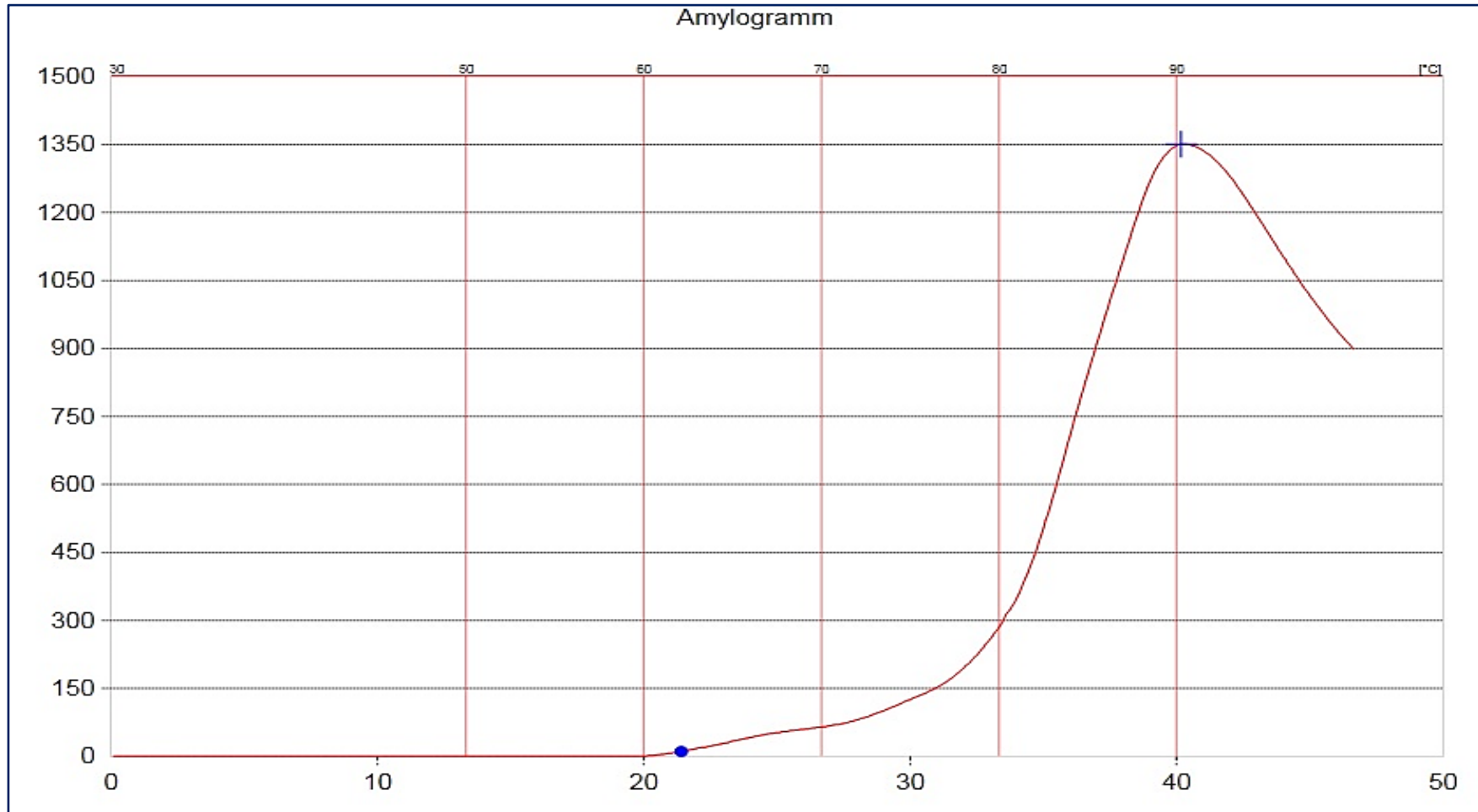
La de temperatura de gelatinización máxima alcanzado fue 91.0°C que corresponde al tratamiento control, por otro lado el menor valor fue 89.0°C correspondiente al T9, mientras que el análisis realizado al T8 fue de 90.5°C, estas variaciones las podemos asociar a lo que manifiesta Ramírez (2011) quien refiere que la temperatura de formación de pasta depende de la concentración de almidones, mientras que la temperatura de inicio está

relacionada a la naturaleza de las interacciones entre los componentes del almidón.

El punto de gelatinización máxima en el tratamiento control fue de 1349 AU, mientras que para el T8 fue de 996 AU y para el T9 de 9550 AU. Los resultados obtenidos se deben a que la harina de trigo presenta alto grado de almidón en comparación con la harina de chía desgrasada lo cual permite obtener una gelatinización superior y también tomemos en cuenta que el aumento del grado de viscosidad se debe a la gelatinización del almidón. Resultados similares reportó Indrani (2010), quien determinó con parámetros viscosímetros en harina de trigo sustituido con harina de garbanzo, reportando picos de viscosidades más bajos, atribuyendo este resultado al alto contenido de fibra y la baja presencia de carbohidratos.

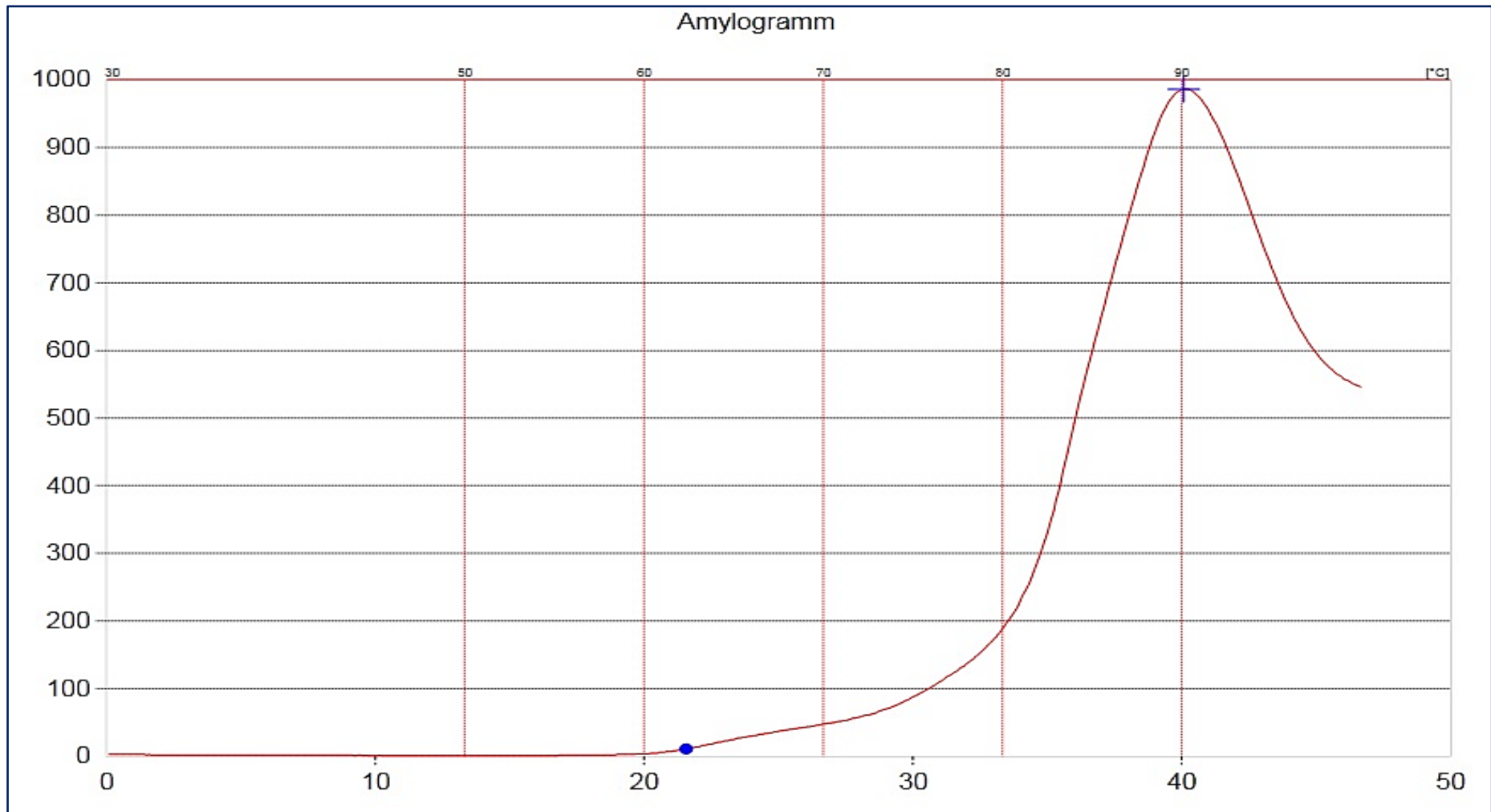
Así mismo, los almidones que dan picos altos, tienen la característica de tener un alto poder de hinchamiento. Estos almidones que son capaces de tener un alto grado de hinchamiento son también menos resistentes a la desintegración durante la cocción y por lo tanto presentan una significativa disminución de la viscosidad después de alcanzar el máximo valor. (Brumovsky, 2014)

❖ Gráficas de los análisis amilográficos de las formulaciones

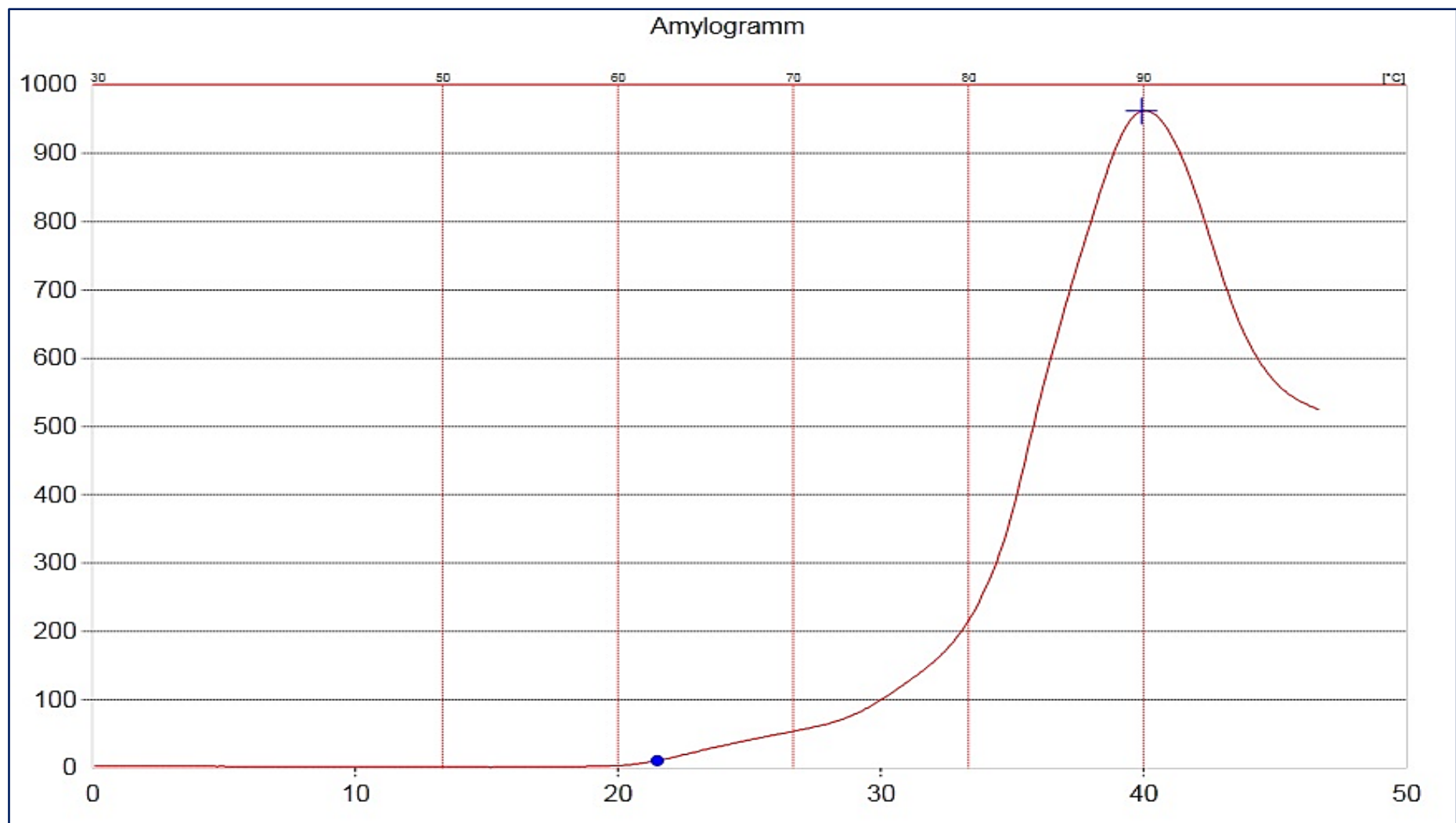


**Figura 20:** Amilografía del Tratamiento Control





**Figura 21:** Amilografía del Tratamiento T8.



**Figura 22:** Amilografía del Tratamiento T9.

#### 4.2.3.2. Farinografía

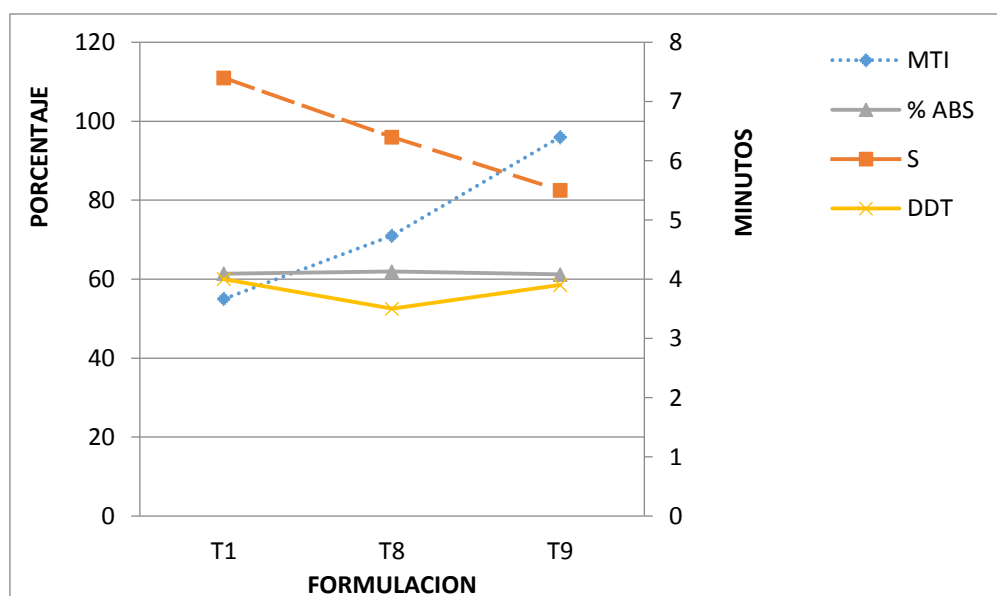
Se decidió analizar la influencia de los parámetros de absorción de agua, tiempo de desarrollo y estabilidad de la masa, en las formulaciones trabajadas durante la investigación con el objetivo de conocer el efecto sobre las masas de harinas al ser mezcladas.

**Tabla 23**

*Resumen de los tratamientos analizados por farinografía*

TRATAMIENTOS	H. Trigo (%)	H. Chía D (%)	(%) ABS	DDT(min)	S (min: ss)	MTI (FE)
<b>CONTROL</b>	100	0	61.4± 1.08	4.0±0.09	7.4±0.06	55±1.1
<b>T8</b>	93.7	7.5	62.1± 0.60	3.5±0.1	6.4±0.05	71±0.80
<b>T9</b>	91.7	10	62.9± 0.21	3.6±0.13	5.5±0.10	96±0.6

*C=Consistencia, ABS= Absorción de agua, DDT= Tiempo óptimo de desarrollo, S= Estabilidad, MTI= Índice de tolerancia*



**Figura 23:** Gráfica de series de tiempo de características farinográficas.

*ABS= Absorción de agua, DDT= Tiempo óptimo de desarrollo, S= Estabilidad, MTI= Índice de tolerancia*

❖ Gráficas de los análisis farinográficos de las formulaciones

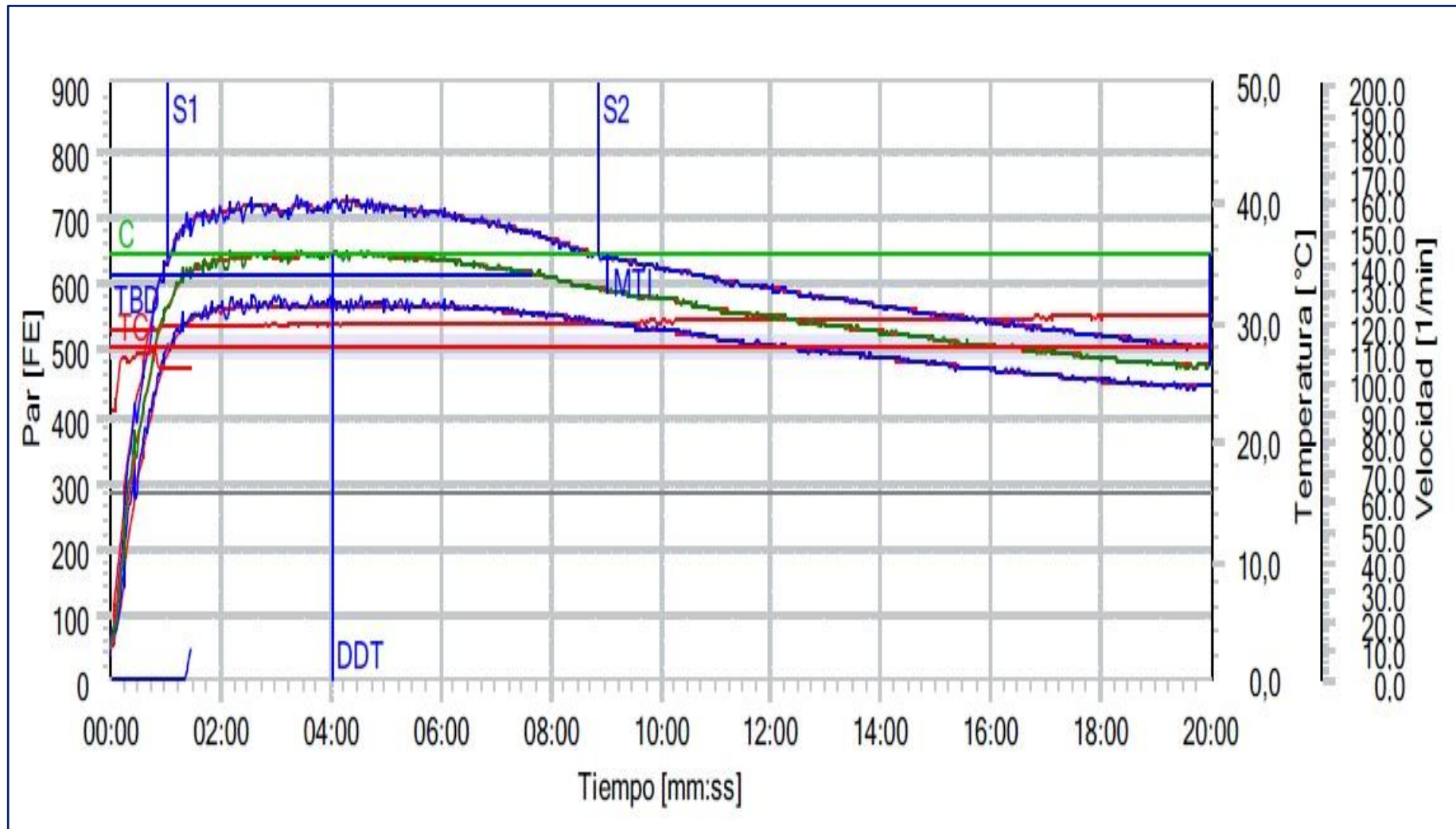


Figura 24: Farinografía del Tratamiento Control.

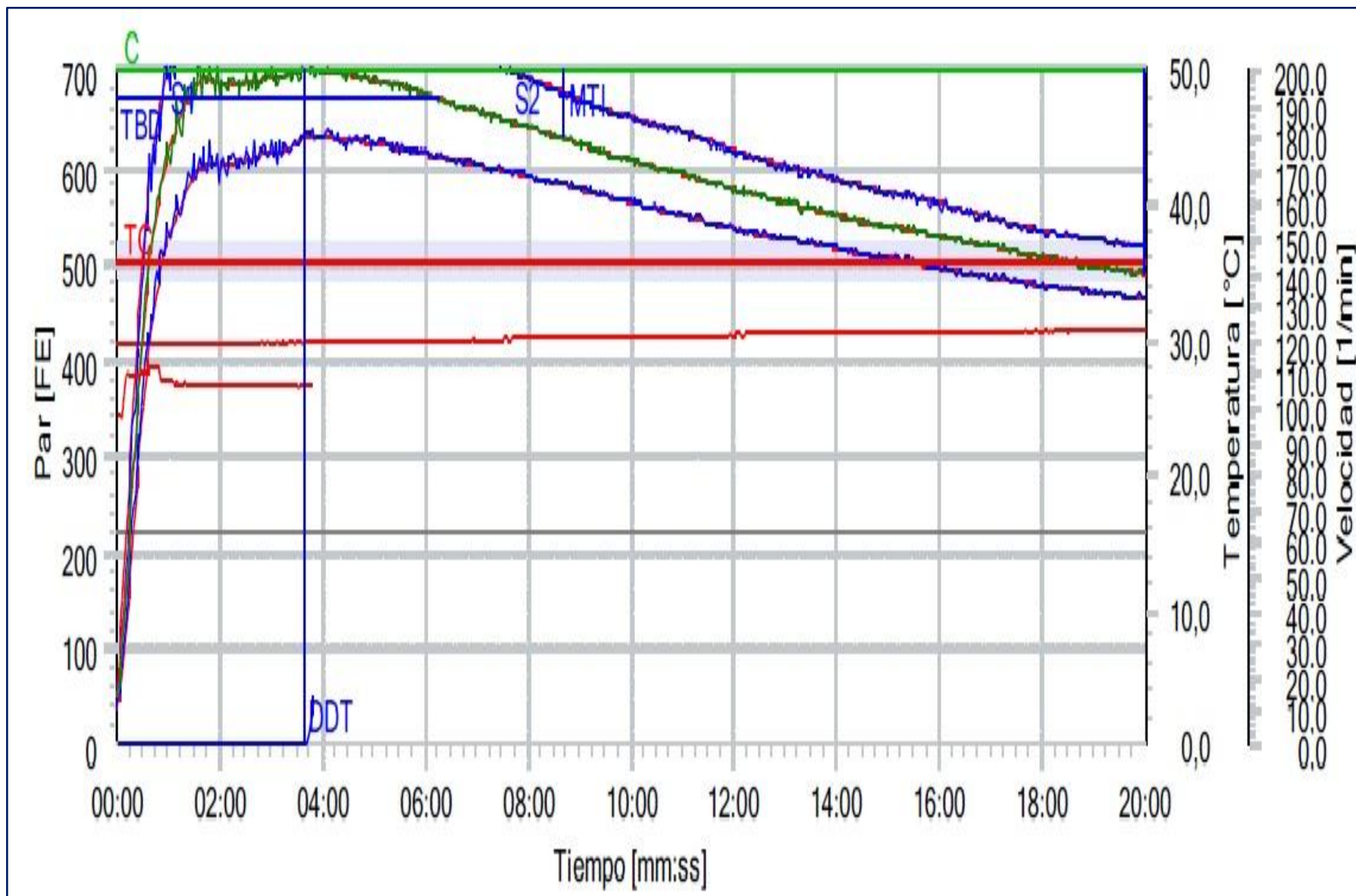


Figura 25: Farinografía del Tratamiento T8

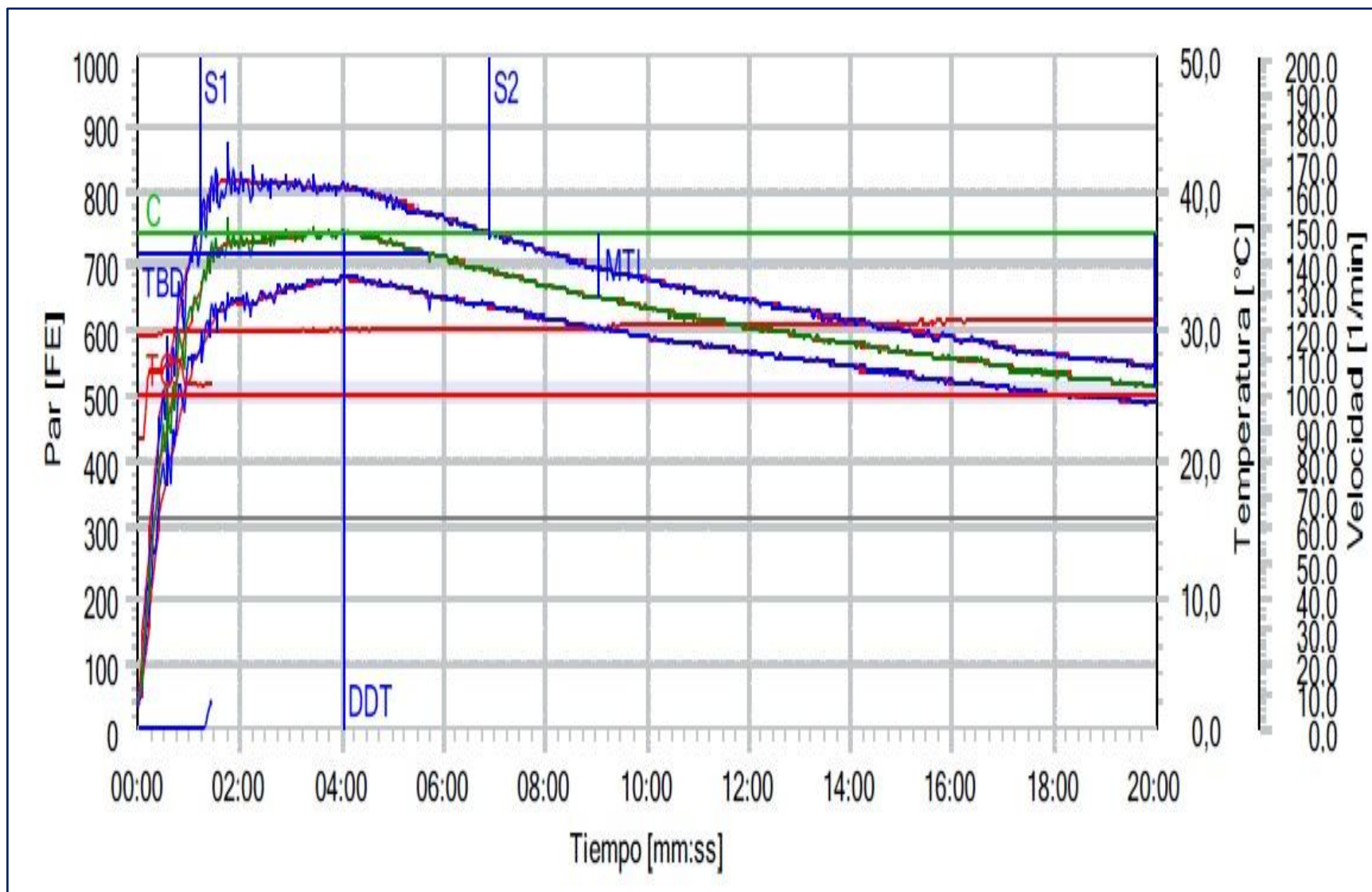


Figura 26: Farinografía del Tratamiento T9.

Al final del análisis de los resultados del análisis sensorial, se procedió a realizar el análisis reológico a los tratamientos que tuvieron mayor aceptabilidad y compararlos con un control.

El tratamiento control (100% harina de trigo), además de los T8 (95% de Harina de trigo + 5% de Harina de chía desgrasada) y T9 (92.5% de Harina de trigo + 7.5% de Harina de chía desgrasada) sobrepasan las 500 UB como se esperaba, esto es un indicador de que la masa es resistente y ofrece fuerza para la absorción de agua, manifestando valores de 61.4%, 62.1% y 62.9% respectivamente. Por lo general, el nivel de absorción de agua depende del contenido de proteína, de la presencia de gránulos de almidón dañados y del tamaño de partícula según refiere Chagman (2010). Es importante mencionar que harinas que exhiben valores de absorción de agua inferior del 55% no se recomiendan para horneado ya que no permite fenómenos esenciales para la obtención de productos de calidad. (Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2010)

Es importante destacar que Varanda (2014) también observó un aumento significativo en la absorción de agua en bolos con 30% de sustitución parcial de harina de sachá inchi, observó que cuanto mayor es la adición de torta desgrasada extruida de Sachá Inchi a las mezclas estudiadas, se obtienen valores más altos, con sustitución de 18.7% y 25% respectivamente, donde ambas tuvieron una absorción de agua de 65,7%, debido a su alto contenido en fibra.

Un aumento en la absorción de agua, después de la incorporación de concentrados de proteínas vegetales ha sido reportado por otros investigadores quienes atribuyen la

capacidad de absorción de este tipo proteínas a su capacidad de competir por el agua con otros constituyentes de la masa. Según estos autores la capacidad de estas proteínas para absorber altas cantidades de agua da como resultado que presenten un aumento de los valores farinográficos de absorción de la masa. (El-Adaway, 1997; Dervas et al, 1999; El-Soukkary, 2001; Doxastakis et al., 2002, citados por Mohammed et al., 2011).

El tiempo óptimo de desarrollo (DDT), para el tratamiento control es de (4.0 min), para el T8 (3.5 min) y para el T9 (3.6 min). Presentando una tendencia creciente al aumentar la sustitución, teniendo en cuenta que la masa necesita este tiempo óptimo para su desarrollo de estructura física (tiempo de desenvolvimiento de la masa) y cualidades plásticas (Magaña et al., 2012). El tiempo de desarrollo es el tiempo requerido para que se hidraten las proteínas, los tiempos de desarrollo menores a 3 min son características de trigos suaves. Es conocido que, para elaborar panes de molde, se requiere valores superiores al 50% ABS cantidad de agua y tiempos mayores a 3 min, valores que nuestros mejores tratamientos cumplen perfectamente.

El tiempo de desarrollo de la masa está relacionado con el tiempo necesario para el desarrollo del gluten, de modo que cuanto más fuerte es la harina, mayor es el tiempo de desenvolvimiento según menciona Borges et al. (2013). Además, cabe resaltar que la adición de harinas cuyas proteínas no son formadoras de gluten, como es el caso de la harina desgrasada de chíá, tienden al debilitamiento de la mezcla y, en consecuencia, dan como resultado una disminución en el tiempo de desarrollo.



El tiempo de estabilidad (S), para el tratamiento control es de (7.4 min), para el T8 (6.4 min) y para el T9 (3.6 min). Es el tiempo donde se alcanza la consistencia máxima de la masa, la cual conserva durante los tiempos mencionados y al cabo del cual se pierde la tenacidad y extensibilidad. Con respecto a los tiempos de estabilidad mencionados se puede aseverar que las harinas analizadas para la elaboración de nuestros panes de molde son de fuerza mediana debido a que estos superan el límite de 500 UB como se mencionó anteriormente. Magaña et al. (2012) refiere que una masa de buena calidad panadera es aquella cuyos valores de estabilidad están entre los 5 a 9 min para harina de fuerza media y 10 a 15 min para harina fuerza superior. Sin embargo de acuerdo a los resultados mencionados, todo indica que se trata de una harina de fuerza media.

Es importante mencionar que Jardine (1982), citado por Avellaneda et al, (2015), registraron valores bajos de estabilidad a niveles 6.2 min y 5.6 min en sustituciones de harina de sachá inchi, una vez más, este hecho puede explicarse por dilución del gluten en las mezclas, ya que existe una correlación positiva entre la calidad de la proteína de la harina y la estabilidad de la masa; una estabilidad mayor indica una mejor calidad de proteína y por tanto mejor harina de calidad. Es decir, con una disminución de la harina de trigo y, en consecuencia gluten, la harina se vuelve más débil y menos tolerante a la mezcla.

Por otro lado Beltran et al. (2011), afirma que una harina fuerte presenta más estabilidad y consistencia en el proceso de amasado. Esto se ve cuando en un farinograma la curva permanece por más tiempo sobre la línea de 500 UB con respecto a la masa elaborada a partir de la harina débil.

Además, el tiempo de desarrollo es mucho más amplio en la harina fuerte. La estabilidad es el intervalo de tiempo donde se mantiene la máxima consistencia de la masa e indica la fuerza de la misma (Magaña et al., 2011).

El índice de tolerancia (MTI), para el tratamiento control es de (55 FE), para el T8 (71 FE) y para el T9 (96 FE). Este índice nos proporciona información sobre la mayor o menor tolerancia de la mezcla de harinas y de acuerdo a los tratamientos analizados estos valores bajos de tolerancia indican que nuestras harinas poseen una buena red de gluten. Álvarez (2012) menciona su resultado de índice de tolerancia con 109 FE para sustitución de 16.7 % de harina de sachá inchi es elevado y esto indica que la red de gluten es mala o que la harina posee mucho almidón dañado; este almidón se rompe en el proceso de molienda y es capaz de absorber el doble de agua que un almidón intacto. O también esto podría estar relacionado a la composición físico-química de la torta desgrasada extruida de sachá inchi, por el contenido de proteínas, azúcares y fibra.

Finalmente, luego de realizado las pruebas farinográficas, se determinó que los T8 y T9 presentan buenas características reológicas. Para Ramirez (2011) niveles de sustitución menores al 10%, las masas son consideradas fuertes, para mayores del 10% son consideradas débiles en harina sustituida con semilla de chía.

#### **4.2.3.3. Extensografía**

El análisis extensográfico determina los cambios en la tenacidad y la elasticidad de la masa con respecto al tiempo, principalmente en la etapa de fermentación, se basa en el grado de fermentación que resiste una harina, la que decide la calidad de este. Es la estabilidad más que la fuerza lo que una harina necesita puesto que debe formarse una masa lo suficientemente estable para conservar su forma después de ser moldeada.

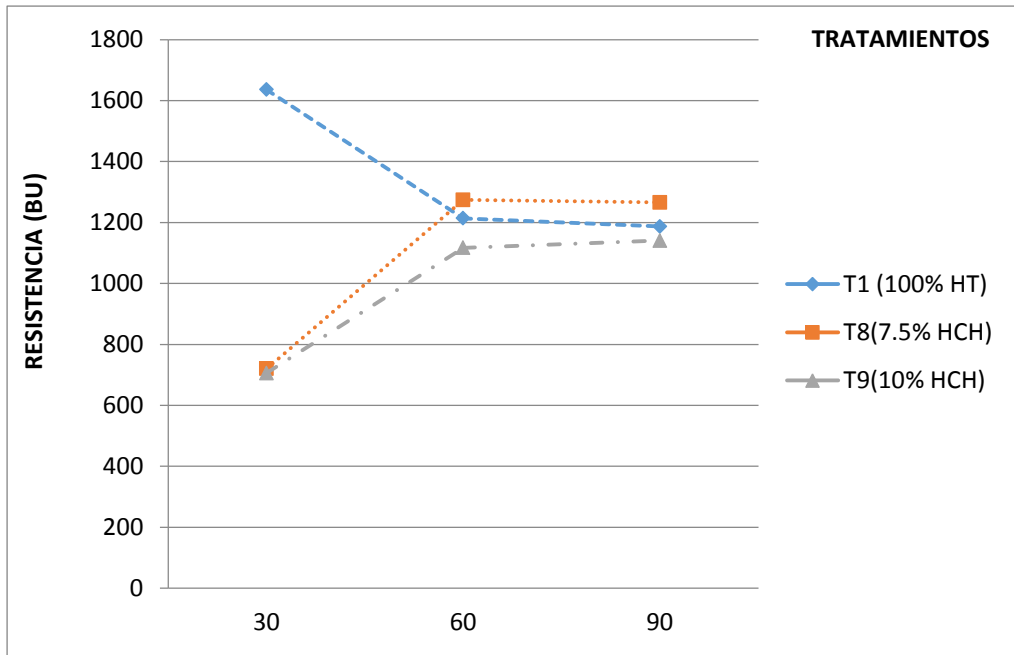
**Tabla 24***Resumen de las formulaciones analizadas por extensografía.*

TRATAIENTOS	Tiempo de Descanso (min)											
	30				60				90			
	R (BU)	E(mm)	A(cm2)	M(BU)	R (BU)	E(mm)	A(cm2)	M(BU)	R (BU)	E(mm)	A(cm2)	M(BU)
<b>CONTROL</b>	1636±2.05	130±7.0	161±4.0	1637±0.5	1214±11.0	96±6.2	151±2.05	1303±0.5	1187±4.0	81±10	117±6.0	1228±0.6
<b>T8</b>	720±3.3	133±1.5	145±3.1	864±0.8	1274±1.1	93±3.4	144±3.9	1432±0.03	1266±2.7	90±5.3	126±4.2	1354±1.1
<b>79</b>	706±1.3	112±3.1	115±2.2	781±0.07	1117±2.6	84±3.3	117±4.7	1121±0.3	1141±2.3	82±8.5	113±3.0	1143±0.3

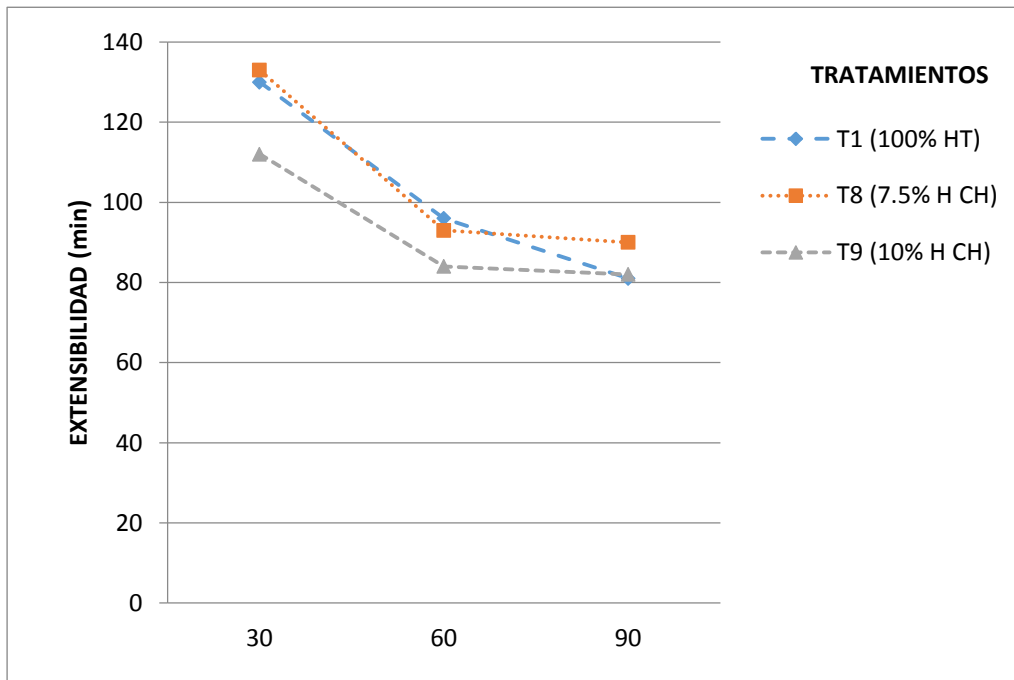
R=Resistencia a la Extensión (UB),

E= Extensibilidad (mm),

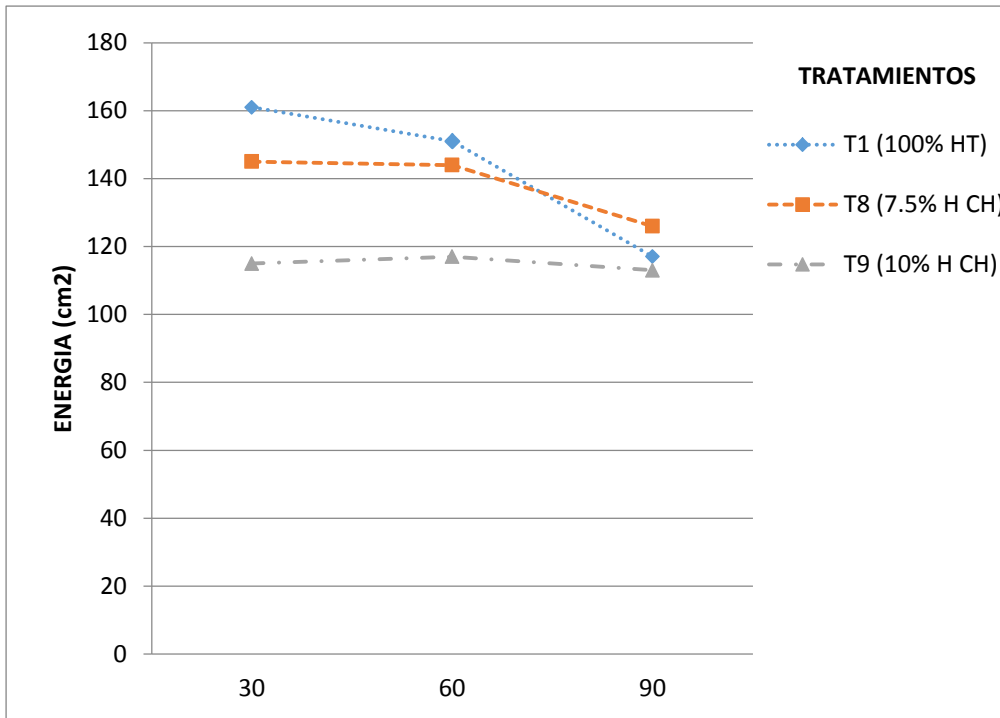
M=Máximo (BU)



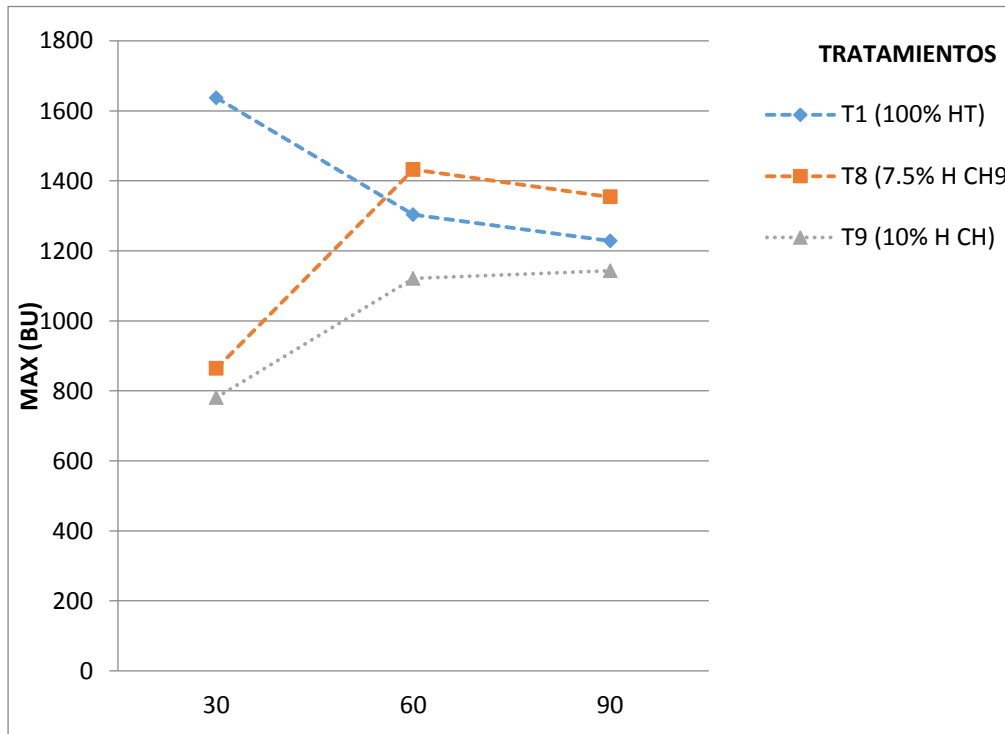
**Figura 27:** Efecto de la adición de harina desgrasada de chía en la resistencia (BU).



**Figura 28:** Efecto de la adición de harina desgrasada de chía en la extensibilidad (mm).

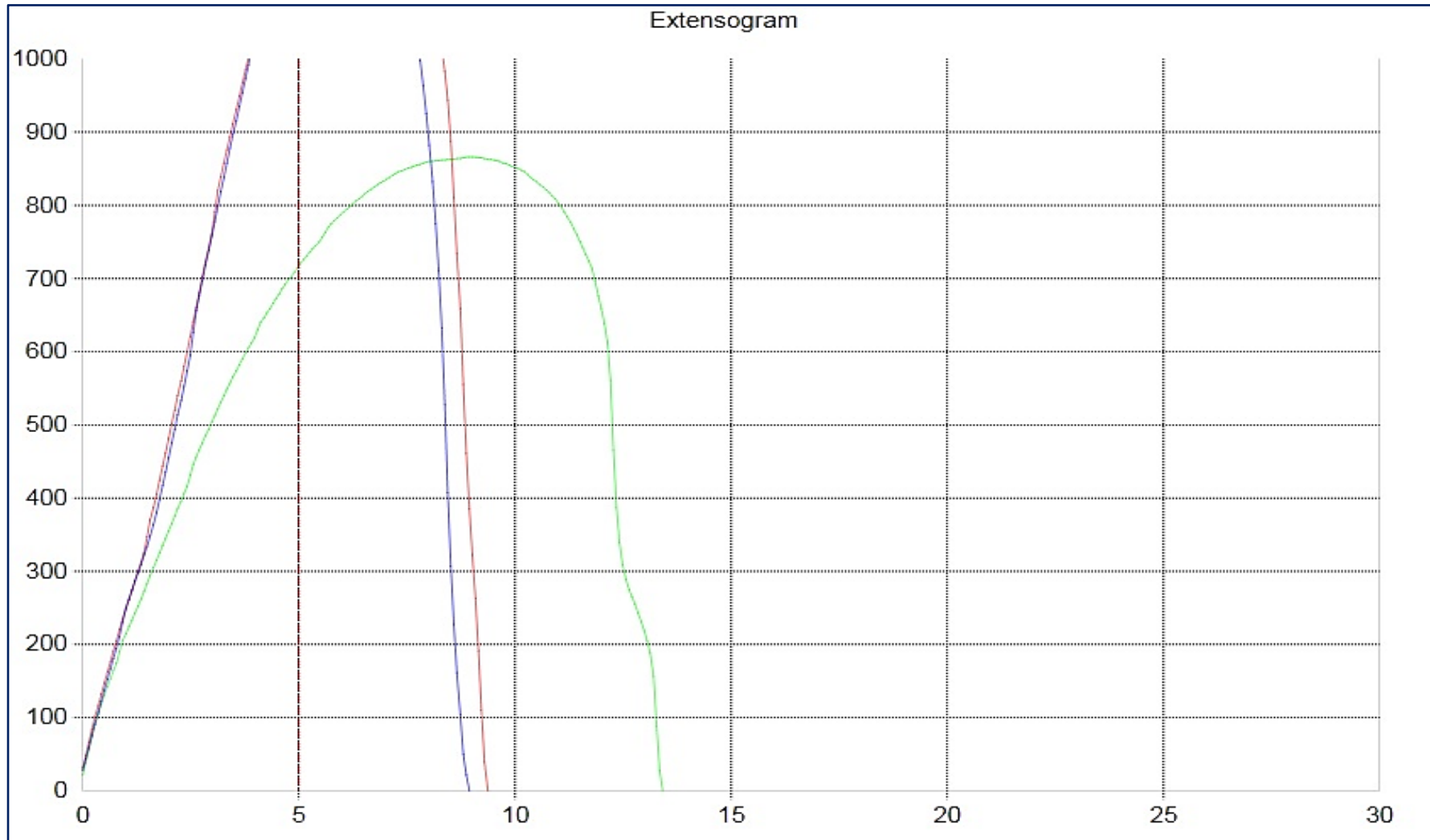


**Figura 29:** Efecto de la adición de harina desgrasada de chía en el área (cm<sup>2</sup>).

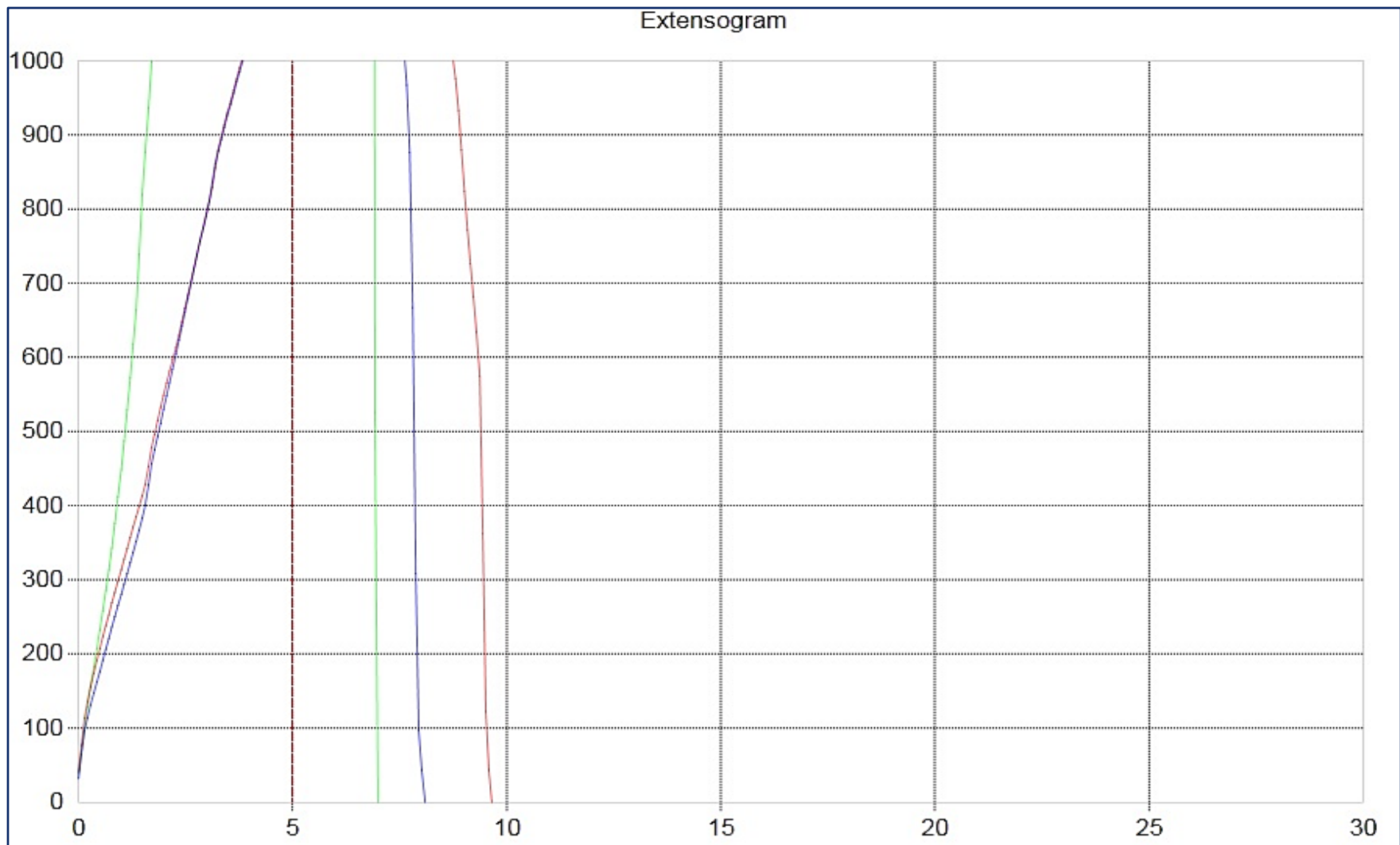


**Figura 30:** Efecto de la adición de harina desgrasada de chía en la resistencia máxima (BU).

❖ Gráficas de los análisis extensográficos de las formulaciones

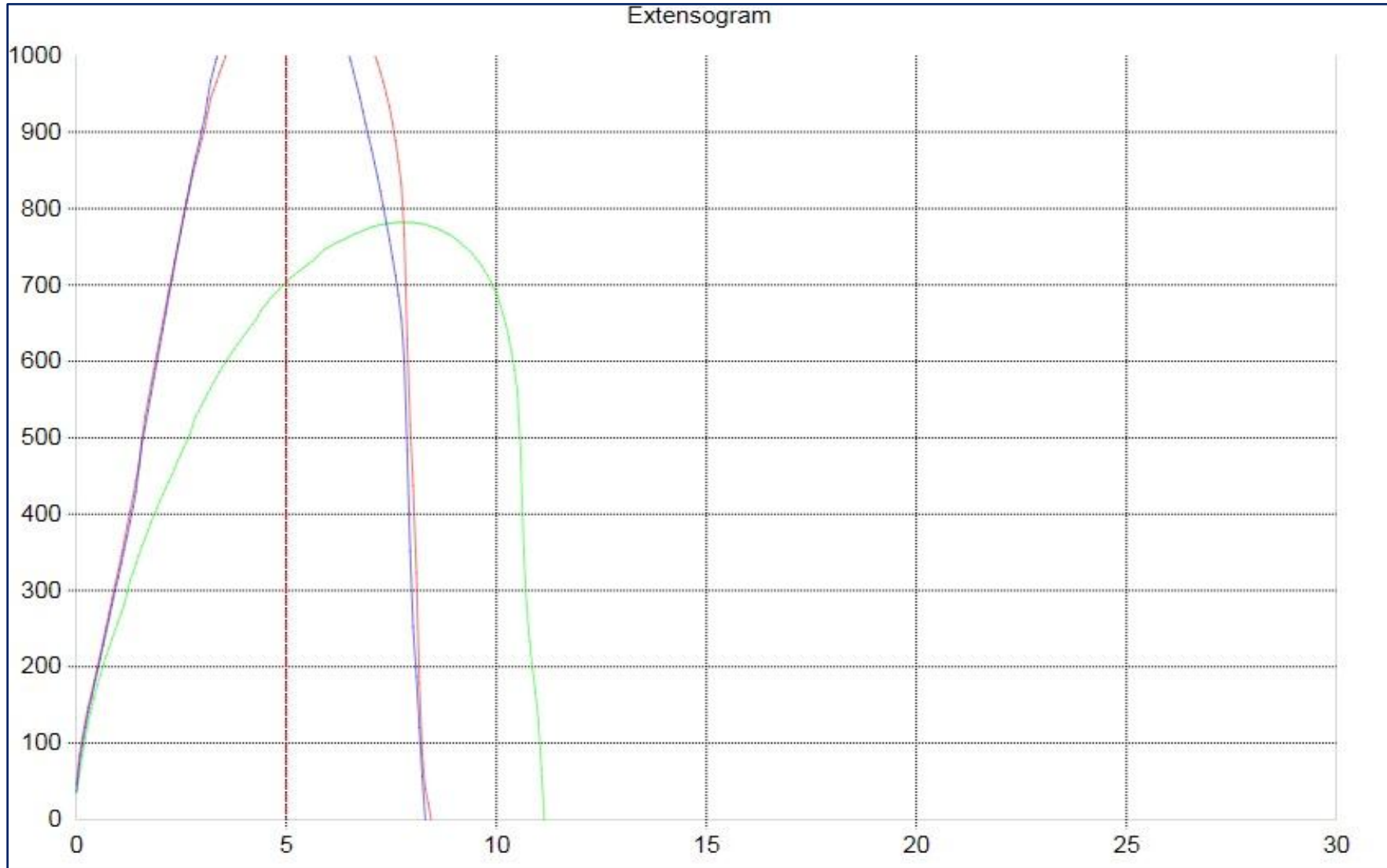


**Figura 31:** Extensografía del Tratamiento Control



**Figura 32:** Extensografía del Tratamiento T8





**Figura 33:** Extensografía del Tratamiento T9

Es importante mencionar que al igual que en el farinograma, se logra corroborar en el extensograma para el control (100% harina de trigo), además del T8 (5% de Harina de chía desgrasada y 95% de Harina de trigo) y el T9 (7.5% de Harina de chía desgrasada y 92.5% de Harina de trigo) sobrepasan las 500 UB, indicando que las masas son resistentes y ofrecen fuerza, representando una mezcla de harinas apta para panes de molde.

La resistencia a la extensión (R) para el control en tiempos de fermentación para 30, 60 y 90 min se obtuvo valores de 1636 UB, 1214 UB y 1187 UB respectivamente, como se pudo notar al tiempo de 30 min para el control la masa muestra más capacidad de resistencia a la extensión (más capacidad de retención de gas carbónico CO<sub>2</sub> formado durante la fermentación), y para las resistencias máximas (M) en los tiempos de fermentación 30, 60 y 90 min se obtuvo valores 1637 UB, 1303 UB Y 1228 UB respectivamente.

La resistencia a la extensión (R) para el T8 en sus tiempos de fermentación 30, 60 y 90 min se obtuvo valores de 720 UB, 1274 UB y 1266 UB respectivamente, como se pudo notar al tiempo de 60 min el tratamiento 8 su masa muestra más capacidad de resistencia a la extensión (más capacidad de retención de gas carbónico CO<sub>2</sub> formado durante la fermentación), y para las resistencias máximas (M) en los tiempos de fermentación 30, 60 y 90 min se obtuvo valores 864 UB, 1432 UB Y 1354 UB respectivamente.

La resistencia a la extensión (R) para el T9 en sus tiempos de fermentación 30, 60 y 90 min se obtuvo valores de 706 UB, 1117 UB Y 1141 UB respectivamente, como se pudo notar al tiempo de 60 min el tratamiento 9 su masa muestra más capacidad de resistencia a la extensión (más capacidad de retención de gas

carbónico CO<sub>2</sub> formado durante la fermentación), y para las resistencias máximas (M) en los tiempos de fermentación 30, 60 y 90 min se obtuvo valores 781 UB, 1121 UB Y 1143 UB respectivamente.

Los valores de resistencia a la extensión (R) para el tratamiento control (100% harina de trigo) obtuvo su mayor valor de resistencia a la extensión de 1636 UB al cabo de 30 minutos, para el T8 (5% Harina de chía desgrasada y 95% Harina de trigo) obtuvo su mayor valor de 1274 UB al cabo de 60 minutos y para el T9 (7.5% Harina de chía desgrasada y 92.5% Harina de trigo) obtuvo su mayor valor de 1141 UB al cabo de 60 minutos. Estos resultados podemos atribuirlos a la sustitución con harina de chía desgrasada debido a que el nivel de gluten presente disminuye, y por lo tanto ocasiona que los tiempos aumenten para encontrar su mayor valor de resistencia a la extensión.

Los valores de extensibilidad (E) para en el tratamiento control obtuvo su mayor valor de extensibilidad de 130 mm al cabo de 30 minutos, para el T8 obtuvo su mayor valor de 9 mm al cabo de 60 minutos y para el T9 obtuvo su mayor valor 84 mm al cabo de 60 minutos. Estos resultados podrían atribuirse que en estos tiempos mencionados la masa logra alcanzar buena resistencia a la extensión y buena extensibilidad, lo que se tornara en una masa suave y con buena elasticidad. Varanda (2014) menciona que si el tiempo de fermentación de la masa es demasiado largo, habrá rompimiento de la red proteica, dejando escapar el gas de fermentación, perjudicando el desenvolvimiento del pan en el horno y el volumen final.

Cabe mencionar que la extensibilidad al cabo de los 60 minutos para el tratamiento control obtuvo valores bajos 96 mm, mientras que para los T8 y T9 al cabo de los 90 minutos se obtuvo valores

de 90 mm y 82 mm. Esto podemos atribuirlo a que la masa al presentar alta resistencia a la extensión y poca extensibilidad se vuelve dura y rígida. Resultados similares fueron obtenidos por Varanda (2014) en su investigación con sustitución parcial con harina de linaza, encontró que, el incremento del contenido de harina de linazas mayores al 10%, provocó un debilitamiento del gluten y la masa reduciendo los valores de extensibilidad y resistencia a la extensión, también Biondi (2013) afirma que aquellas harinas sustituidas con altos niveles de fibras como proteínas, actúan como puntos de debilidad facilitando la ruptura física de la matriz de gluten y por consiguiente perjudicando la expansión de la masa durante la fermentación.

Si bien no existen datos bibliográficos respecto a los cambios introducidos por la harina desgrasada chía para elaboración de panes de molde, existen trabajos realizados con otras oleaginosas y leguminosas. En este sentido, respecto a panificados con mezclas de harina de trigo y harina de soja, Ribotta (2010) han informado un efecto negativo de la harina de soja sobre la formación del gluten, las propiedades de extensibilidad de la masa, las propiedades de retención de gas y la calidad del pan atribuyendo este efecto a una causa indirecta, relacionada con la disponibilidad de agua y otra directa, relacionada con interacción de las proteínas de soja con las del gluten.

En cuanto al área o energía (A), para el tratamiento control obtuvo su mayor valor de 161 cm<sup>2</sup> en un tiempo de fermentación de 30 min, en comparación con el T8 que obtuvo su mayor valor de 144 cm<sup>2</sup> en un tiempo de 60 min de fermentación y el T9 que obtuvo su mayor valor de 117 cm<sup>2</sup> en un tiempo de 60 min de fermentación; entonces podemos decir que al presentar estos mayores valores de área total indican que la misma posee una mejor calidad. Tomando lo mencionado por Nitzke (2012) quien

cita que cuando mayor sea el área, mayor es la energía ejercida y mayor es la fuerza de la masa y harina, con lo que demuestra que habrá un debilitamiento en la estructura proteica con el incremento del nivel de sustitución de la torta desgrasada de Sacha Inchi.

Por lo tanto, luego de evaluar los parámetros obtenidos en el extensograma del control y de los T8 y T9, como extensibilidad y energía para los tiempos de fermentación estudiados; se concluye que estos parámetros propios de las harinas mezcladas se encuentran dentro de los rangos adecuados para que la harina sea considerada apta para la elaboración de panes de molde. Esta aseveración se realiza al comparar con los parámetros mencionados por Nitzke (2012), quien indica que la extensibilidad debe encontrarse entre 100 y 160 cm y la energía o área debe ser mayor 100 cm<sup>2</sup> y menor a 170 cm<sup>2</sup>.

La suplementación de la harina trigo con harina de chía desgrasada ricos en proteínas, en altos porcentajes (10% a 20%) de proteína provoca problemas en el proceso de elaboración y la calidad en el pan de molde, entre estos efectos descritos se observan modificaciones en las propiedades reológicas de la masa, de la capacidad de retención de gas, del volumen y de la textura del producto final

#### 4.2.4. CÓMPUTO QUÍMICO DE LAS FORMULACIONES (CQ)

Se realizó el cómputo químico de las diferentes formulaciones de harina de trigo y harina de chía desgrasada y sin desgrasar, como referencia se utilizó el patrón de los aminoácidos esenciales de la FAO/OMS/UNU (2007). Los resultados se muestran en la Tabla 25.

Los valores obtenidos son cálculos teóricos, que se obtuvieron a partir de la composición de aminoácidos de la harina de trigo y la harina chía, que se reportan en la bibliografía.

Teóricamente se indica que los 12 tratamientos presentados pueden cumplir satisfactoriamente los requerimientos de aminoácidos, excepto la lisina que no cumple en su totalidad, llegando hasta valores de 3.0 g/g de proteína. Se puede observar que no se alcanza a cubrir los requerimientos que exige la FAO (70%) para el aminoácido limitante, como en este caso es la lisina, pero se obtiene valores cercanos entre 62.4% (para la formulación con menor sustitución T2) y 66.9 % (para la formulación con mayor sustitución T12).

Los aminoácidos de la chía no tienen factores limitantes en una dieta para adultos, lo que significa que esta puede ser incorporada en las dietas humanas y mezclada con otros granos, con el fin de producir una fuente equilibrada de proteínas y fomentar una alimentación equilibrada.

**Tabla 25**

*Composición química y perfil de aminoácidos de las diferentes harinas utilizadas en las formulaciones.*

	<b>HARINA TRIGO</b>	<b>HARINA INTEGRAL</b>	<b>H. CHÍA SIN DESGRASAR</b>	<b>H. CHÍA DESGRASADA</b>
<b>COMPONENTES (g/100g)</b>				
% HUMEDAD	10.8	10.8	5.3	6.87
% CENIZA	0.4	1.7	5.2	7.09
% FIBRA	1.5	2.3	19.9	26.5
% GRASA	2	2	29.82	4.5
% PROTEINA	10.5	12.9	19.32	32.2
% CARBOHIDRATOS	76.3	72.6	40.34	40.2
<b>AMINOACIDOS (mg/g proteína)</b>				
ISOLEUCINA	46	47.2	32.1	33
LEUCINA	82	86.1	58.9	72
LISINA	24	35.2	44.4	50
METIONINA + CISTINA	17	49.2	18.3	23
FENILALANINA+TIROSINA	87	97.3	74.8	74.1
TREONINA	32	36.7	34.3	39
TRIPTOFANO	12	15	0	9.5
VALINA	49	57.5	51	46

**Tabla 26**

*Cómputo químico de los diferentes tratamientos enriquecidos con harina de chía desgrasada y sin desgrasar.*

TRATAMIENTOS (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Patrón de aminoácidos (mg/g proteína)*
<b>HARINA INTEGRAL</b>	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-
<b>HARINA DE TRIGO</b>	70.0	66.5	64.8	63.0	61.3	59.5	70.0	66.5	64.8	63.0	61.3	59.5	-
<b>H. CHIA</b>	0.0	3.5	5.3	7.0	8.8	10.5	0.0	3.5	5.3	7.0	8.8	10.5	-
<b>Isoleucina (mg/g proteína)</b>	154.53	152.91	152.10	151.29	150.48	149.67	154.53	153.02	152.26	151.50	150.74	149.98	30.00
<b>Leucina (mg/g proteína)</b>	141.07	139.70	139.01	138.33	137.64	136.96	141.07	140.47	140.18	139.88	139.58	139.29	59.00
<b>Lisina (mg/g proteína)</b>	60.80	62.39	63.18	63.97	64.77	65.56	60.80	62.82	63.83	64.84	65.86	66.87	45.00
<b>Metionina+Cistina (mg/g proteína)</b>	121.18	121.39	121.49	121.60	121.70	121.80	121.18	122.14	122.61	123.09	123.57	124.05	22.00
<b>Fenilalanina + tirosina (mg/g proteína)</b>	237.08	235.96	235.39	234.83	234.27	233.71	237.08	235.89	235.30	234.70	234.11	233.51	38.00
<b>Treonina (mg/g proteína)</b>	145.26	145.61	145.79	145.96	146.14	146.31	145.26	146.33	146.86	147.39	147.92	148.46	23.00
<b>Triptofano (mg/g proteína)</b>	215.00	208.00	204.50	201.00	197.50	194.00	215.00	213.54	212.81	212.08	211.35	210.63	6.00
<b>Valina (mg/g proteína)</b>	132.18	132.36	132.45	132.54	132.63	132.72	132.18	131.91	131.78	131.64	131.51	131.37	39.00

*\*FUENTE: WHO/FAO/UNU, 2007- Categoría adultos*



### 4.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE

#### 4.3.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL PAN DE MOLDE

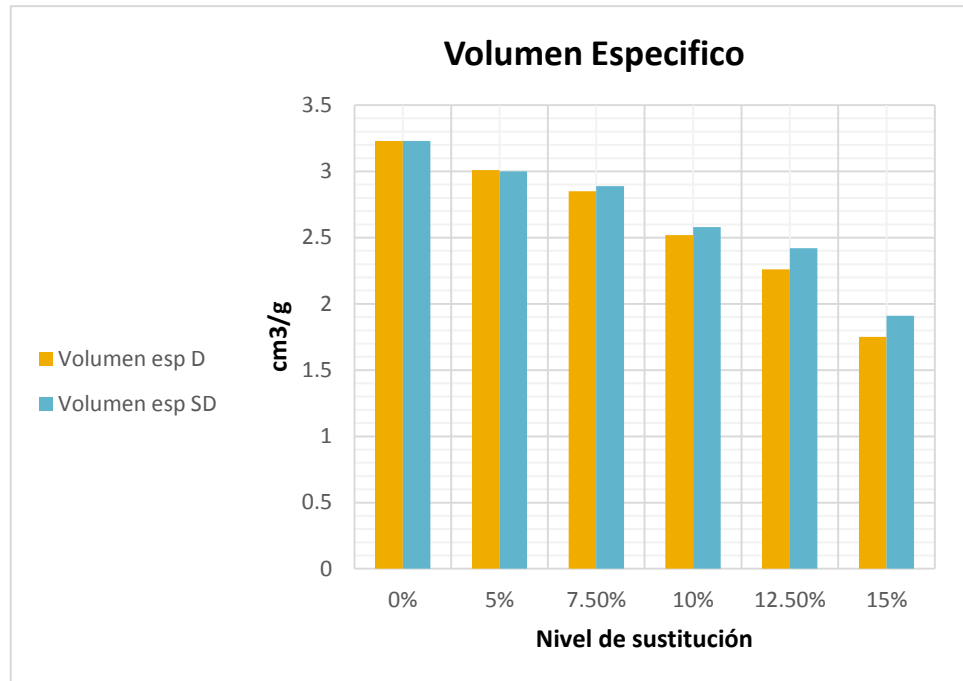
##### 4.3.1.1. Volumen específico

Se presentan los resultados obtenidos al estudiar el efecto de la sustitución de harinas de chía desgrasada y sin desgrasar sobre el volumen específico, de igual manera se presenta la comparación frente a un pan de molde no adicionado utilizado como testigo.

**Tabla 27**

*Volumen específico de todas las formulaciones del pan de molde*

Tratamientos	Formulaciones del pan			Volumen específico (cm <sup>3</sup> /g)
	HT %	H. chía SD%	H. chía D %	X ± S
T1	100	0	0	3.23 ± 0.01
T2	95	5	0	3.00 ± 0.09
T3	92.5	7.5	0	2.89 ± 0.13
T4	90	10	0	2.58 ± 0.12
T5	87.5	12.5	0	2.42 ± 0.2
T6	85	15	0	1.91 ± 0.1
T7	100	0	0	3.23 ± 0.01
T8	95	0	5	3.01 ± 0.08
T9	92.5	0	7.5	2.85 ± 0.15
T10	90	0	10	2.52 ± 0.15
T11	87.5	0	12.5	2.26 ± 0.24
T12	85	0	15	1.75 ± 0.1



**Figura 34:** Gráfico de barras del volumen específico de pan de molde con sustitución parcial de chía desgrasada y sin desgrasar.

La adición de harina de chía desgrasada y sin desgrasar en diferentes sustituciones trae consigo un efecto sobre la masa panadera en la elaboración del pan de molde, lo cual da lugar a diversos cambios en parámetros de la calidad del pan, como en este caso el volumen específico (la relación. ancho/alto).

Como se observa en la tabla 27, los panes de molde obtuvieron volúmenes que fluctúan entre (3.23 y 1.75 cm<sup>3</sup>/g). dentro de lo cual los tratamiento control T1 y T7 (100% harina de trigo) obtuvieron un valor de 3.23 cm<sup>3</sup>/g y los valores más cercanos a este volumen lo tuvieron el T2 (5% Harina de chía sin desgrasar y 95% Harina de trigo) de 3.00 cm<sup>3</sup>/g y el T8 (5% Harina de chía desgrasada y 95% Harina de trigo) de 3.01 cm<sup>3</sup>/g, esta disminución del volumen específico se atribuye a la reducción de la calidad de la panificación y a el aumento del contenido de fibra propia de la chía, que impidieron la expansión de la red de gluten.

Urbina (2015) en su investigación cita que en niveles de sustituciones (10% chía y 2.5% quinua) y (5 % chía y 5% quinua) en panes de molde obtuvo valores de volumen específico de 2.88 y 3.00 cm<sup>3</sup>/g respectivamente, tomando como análisis que al realizar estos niveles de sustitución disminuyó su cantidad de gluten presente en las masas y por lo tanto redujo su capacidad de retener los gases producto la fermentación.

Cabe destacar que el T3 (Harina de chía sin desgrasar Y 92.5 % Harina de trigo) con un valor 2.89 cm<sup>3</sup>/g y el T9 (7.5% Harina de chía desgrasada y 92.5% Harina de trigo) con un valor 2.85 cm<sup>3</sup>/g, ambos tratamientos obtuvieron valores cercanos al control y los tomamos en cuenta porque no se produjo ningún colapso es su estructura física del pan de molde. Así mismo Urbina (2015), destacó que la harina de chía pose niveles cercanos a 27% de fibra dietaría, dentro de las cuales el 49, 86% es fibra soluble y 51.14% es fibra insoluble y destacó que en sustituciones de hasta 10.5% de harina de chía otorga como un factor muy importante como harina sustituyente, debido al gran porcentaje de fibra soluble que contiene, esto le otorga a la masa una mayor elasticidad y mayor resistencia a romperse y así poder atrapar eficazmente los gases producidos en la fermentación y por lo tanto así presentar ligeras diferencias en su volumen específicos.

En el caso de la adición de harinas proteicas, normalmente la cantidad de almidón y azúcares disponibles en la masa es proporcionalmente reducida, tornándose necesario aumentar el tiempo de fermentación para la obtención del mismo volumen de pan. Se pueden visualizar modificaciones en la calidad del pan producido con harinas mixtas, a partir de un

cierto nivel de sustitución. Las alteraciones pueden ocurrir en varios parámetros de calidad como el volumen, que tendrá a disminuir con un aumento del nivel de sustitución, acompañada con una rotura.

La figura 34, nos muestra la comparación del volumen específico de los panes de molde que tienen sustitución (5-15%) de harina de chía sin desgrasar y (5-15%) de harina de chía desgrasada. Tomando en cuenta esta medida, el volumen específico para sustituciones con harina de chía sin desgrasar está entre 3.00 - 1.91 cm<sup>3</sup>/g y para sustituciones con harina de chía desgrasada está entre 3.01 - 1.75 cm<sup>3</sup>/g, cabe mencionar que en todo los niveles de sustitución los volúmenes específicos con sustituciones de harina de chía sin desgrasar son ligeramente mayores que con sustitución de chía desgrasada. Cauvain (2012) manifiesta que se debe tomar en cuenta que al incrementar las sustituciones de harina de chía los porcentajes de fibra insoluble alcanzan niveles que alteran la calidad como el volumen del pan, esto es debido a que la fibra insoluble tiene un efecto adverso sobre la formación de la red de gluten, ya que esta afecta la masa otorgando mayor dureza y por lo tanto quitándoles elasticidad y asíéndola viscosa y así impidiendo formarse una adecuada retención red de gluten que pueda atrapar el CO<sub>2</sub> fermentado, permitiendo así que el pan de molde colapse en sus estructuras volumétricas y dándole una apariencia no agradable a la vista.

Según Silveira (2013), el compromiso de esta estructura de las proteínas implica cambios de las propiedades viscoelásticas de la masa que no puede formar una red capaz de ampliar su volumen, dar una forma adecuada al pan y retener eficientemente los gases formados por la

fermentación, resultando en panes de menor volumen, pero los excesos de cantidades de insolubles de fibra dietaria tuvieron un efecto adverso sobre la formación de la red de gluten (Ahmed, et al., 2013) y reducción de la calidad del pan debido al efecto de dilución o gluten.

**Tabla 28**

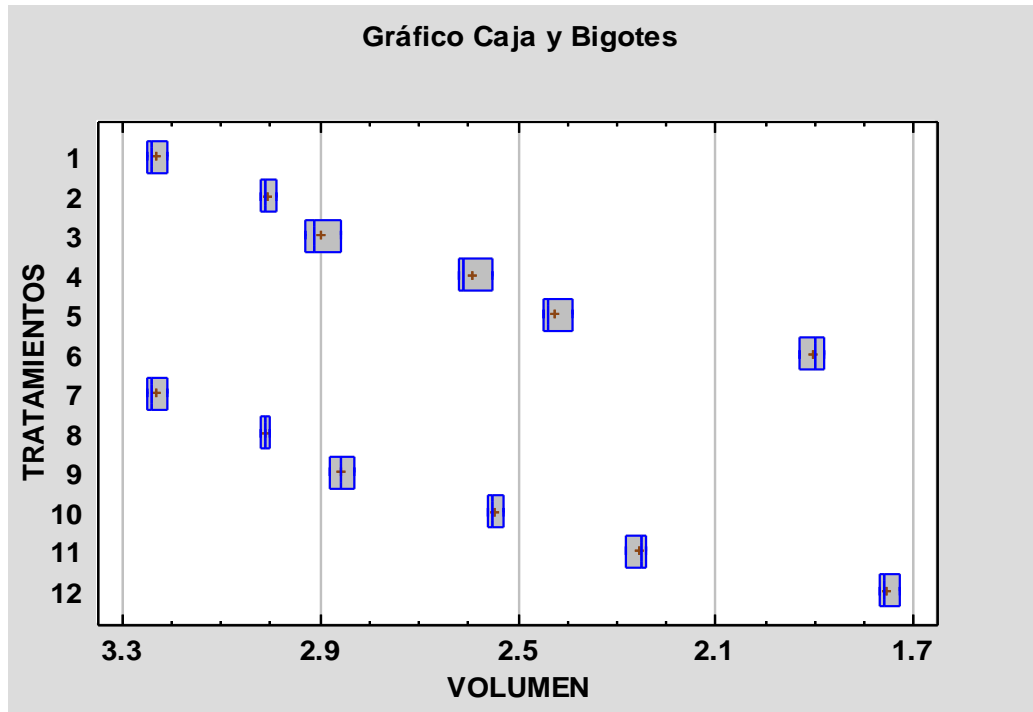
*Análisis de varianza para volumen específico del pan de molde.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
<b>A:TPO DE HARINA CHIA</b>	0.0413444	1	0.0413444	67.65	<b>0.0000</b>
<b>B:%SUSTITUCIÓN</b>	7.78293	5	1.55659	2547.14	<b>0.0000</b>
<b>INTERACCIONES</b>					
<b>AB</b>	0.0418556	5	0.00837111	13.70	<b>0.0000</b>
<b>RESIDUOS</b>	0.0146667	24	0.000611111		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	7.8808	35			

La tabla 28 se observa valores estadísticamente significativos al 5% de significancia ( $p < 0.05$ ). El porcentaje de significancia considerado en el análisis estadístico fue el 5% es decir que los términos que tengan una probabilidad menor a 0.05 serán significativos. Por lo tanto, de lo aseverado anteriormente se concluye que los términos significativos en el estudio de la variable volumen específico.

Los resultados de la tabla ANOVA (tabla 28), muestran que la comparación en la adición de harina de chía sin desgrasar y harina de chía desgrasada, provoca una significativa

disminución en los valores de volumen específico de los tratamientos de pan de molde ( $p < 0.05$ ).



**Figura 35:** Gráfico de caja y bigotes para el volumen específico del pan de molde.

La mediana de volumen específico es más alto para el tratamiento control (100% H trigo) de  $3.23 \text{ cm}^3/\text{g}$ , así mismo los tratamientos T2 (5% Harina de chíá sin desgrasar y 95% Harina de trigo) y T8 (5% Harina de chíá desgrasada y 95% Harina de trigo) tienen medianas iguales  $3.01 \text{ cm}^3/\text{g}$  presentando ambas asimetría positiva y cercanos al valor del control, también los tratamientos T3 (7.5% Harina de chíá sin desgrasar y 95% Harina de trigo) y T9 (7.5% Harina de chíá desgrasada y 92.5% Harina de trigo) presentan medianas similares de  $2.89 \text{ cm}^3/\text{g}$  y  $2.85 \text{ cm}^3/\text{g}$  respectivamente.

#### 4.3.1.2. Textura

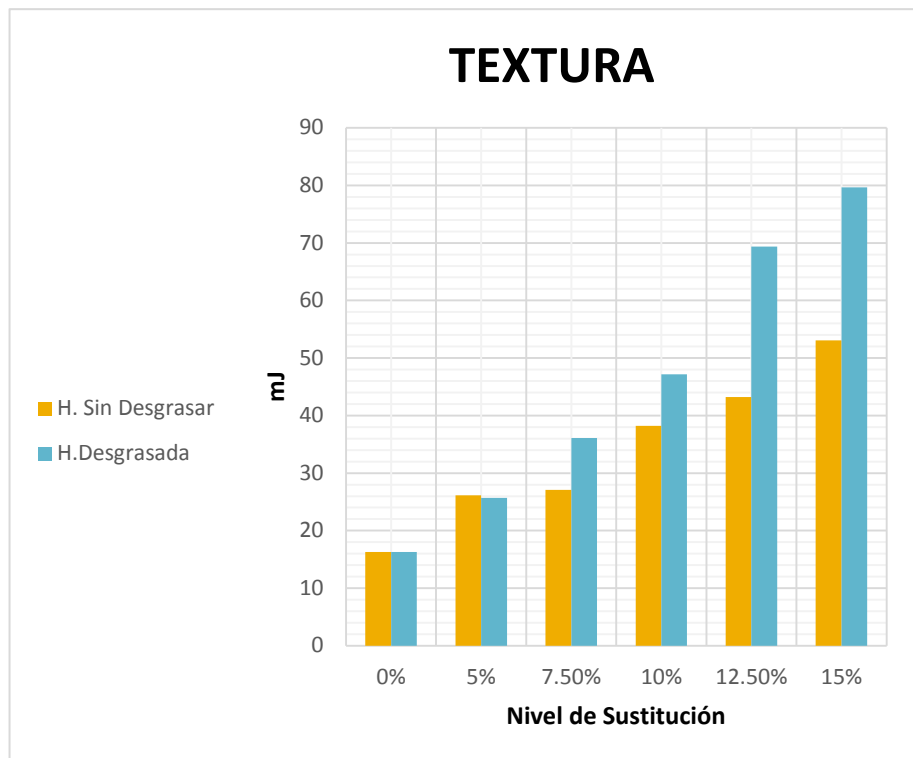
Se presentan los resultados obtenidos al estudiar el efecto de la sustitución de harinas de chía desgrasada y sin desgrasar sobre la textura del pan de molde, de igual manera se presenta la comparación frente a un pan de molde no adicionado utilizado como testigo.

**Tabla 29**

*Textura de todas las formulaciones del pan de molde*

Tratamientos	Formulaciones del pan			Textura (mJ)
	HT %	H. chía SD%	H. chía D %	
<b>T1</b>	100	0	0	16.32
<b>T2</b>	95	5	0	26.12
<b>T3</b>	92.5	7.5	0	27.08
<b>T4</b>	90	10	0	38.23
<b>T5</b>	87.5	12.5	0	43.22
<b>T6</b>	85	15	0	53.07
<b>T7</b>	100	0	0	16.32
<b>T8</b>	95	0	5	25.67
<b>T9</b>	92.5	0	7.5	36.1
<b>T10</b>	90	0	10	47.19
<b>T11</b>	87.5	0	12.5	69.39
<b>T12</b>	85	0	15	79.67

Los resultados se muestran en la tabla 29. Para este estudio los resultados indican comparación que a medida que se incrementó el contenido de chía sin desgrasar y chía desgrasada) otorgando un afectó negativamente la textura del pan.



**Figura 36:** Gráfico de barras para la textura de pan de molde con sustitución parcial de chía desgrasada y sin desgrasar.

De acuerdo a la tabla 29, los panes de molde obtuvieron valores de textura que fluctúan entre 16.32 mJ y 79.67 mJ, dentro de lo cual el tratamiento control (100% harina de trigo) obtuvo un valor de 16.32 mJ y los valores más cercanos a este valor lo tuvieron el tratamiento T2 (5 % Harina de chía sin desgrasar y 95 % Harina de trigo) de 26.12 mJ y el T8 (5% Harina de chía desgrasada y 95% Harina de trigo) de 25.67mJ. Ese aumento de los valores de la textura es debido a que la miga del pan de molde tiene a aglomerarse provocando el aumento de firmeza al realizar las sustituciones. Similares resultados fueron reportados por Demikersen (2010) encontraron un aumento en la dureza de la miga cuando se añadió harina de castaña en formulaciones de pan sin gluten, mostrando también una relación con la cantidad de fibra.



La figura 36, nos muestra la comparación de los valores de textura de los panes de molde que tienen sustitución (5-15%) de harina de chía sin desgrasar y (5-15%) de harina de chía desgrasada. Tomando en cuenta esta medida los valores de textura para sustituciones con harina de chía sin desgrasar están entre 26.12 mJ - 53.07 mJ y para sustituciones con harina de chía desgrasada están entre 25.67 mJ - 79.67 mJ, cabe mencionar que en todo los tratamientos de sustitución los valores de textura con sustituciones de harina de chía desgrasada son mayores que con sustitución de chía sin desgrasar debido al aumento de porcentaje de fibra siendo unos de los principales motivos que causa mayor compactación y aglomeración de la miga y por lo tanto de su firmeza. También Avellaneda (2015) reportó análisis de harina desgrasada extruida de Sacha Inchi que está asociado al debilitamiento del gluten, siendo uno de los principales motivos de la disminución del volumen específico del pan, que causa una mayor compactación de su estructura y consecuentemente de su firmeza.

Merino, 2013 mostró que el pan con sustitución era más duro y menos coherente con el aumento de la fibra en la masa. La textura del de pan control fue significativamente más suave que los panes que contienen harina de lino y/o de soja. El envejecimiento y la migración de la humedad parecían producirse más fácilmente en los panes que contenían HL y HS, dando una textura más firme. Dado que el volumen de pan que contienen lino y/o soja también fue significativamente menor, una miga más comprimida también puede haber contribuido a una textura más firme.

### 4.3.1.3. Colorimetría

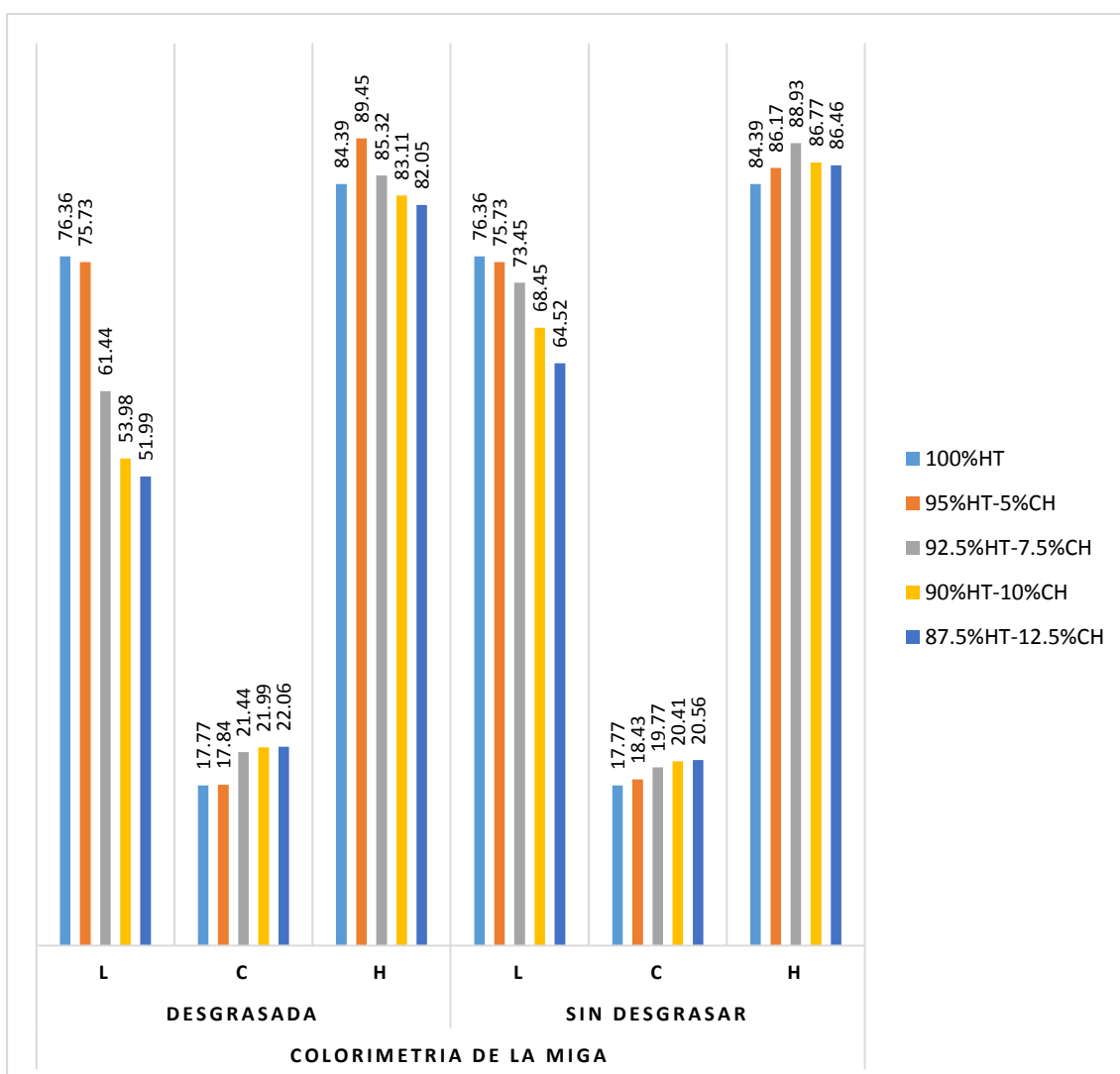
#### ❖ Colorimetría de la miga del pan

En la tabla 30, se muestra los valores obtenidos de colorimetría de la miga de los panes de molde con los diferentes niveles de sustituciones tanto para chía sin desgrasar como para chía desgrasada.

**Tabla 30**

*Colorimetría de la miga del pan de molde*

Tratamientos	Formulaciones del pan			Colorimetría de la miga		
	H.T %	H. Chía SD%	H. Chía D %	L	C	h
T1	100	-----	-----	76.36± 0.01	17.77	89.04
T2	95	5	-----	75.75± 0.2	18.43	89.1
T3	92.5	7.5	-----	73.45± 0.1	19.77	89.16
T4	90	10	-----	68.45± 0.08	20.41	86.77
T5	87.5	12.5	-----	64.25± 0.07	20.56	86.46
T6	85	15	-----	60.25± 0.12	20.78	84.60
T7	100	-----	-----	76.36± 0.01	17.77	89.04
T8	95	-----	5	75.73± 0.2	17.84	89.45
T9	92.5	-----	7.5	61.44± 0.06	21.44	85.32
T10	90	-----	10	53.98± 0.05	21.99	83.11
T11	87.5	-----	12.5	51.99± 0.08	22.06	82.05
T12	85	-----	15	50.19± 0.08	22.92	81.35



**Figura 37:** Gráfico de barras de la colorimetría de la miga de los panes de molde enriquecidos con harina de chía desgrasada y sin desgrasar.

Como se observa en la tabla 30, los panes de molde obtuvieron valores de luminosidad (L) que fluctúan entre  $76.36 \pm 0.01$  a  $50.19 \pm 0.08$ , dentro de lo cual el tratamiento control T1 (100% harina de trigo) obtuvo un valor de  $76.36 \pm 0.01$  y los valores más cercanos a este valor de luminosidad los tuvieron el tratamiento T2 (5% Harina de chía sin desgrasar y 95% Harina de trigo) de  $75.75 \pm 0.2$ , el T3 (7.5% Harina de chía desgrasada y 92.5% Harina de trigo) de  $73.45 \pm 0.1$  y el T8 (5% Harina de chía desgrasada y

95% Harina de trigo) de  $75.73 \pm 0.2$ . Ahora todos los panes de molde tienen una coloración más oscura respecto al tratamiento control, demostrando la reducción en los valores de luminosidad.

La figura 37, nos muestra la comparación de los valores de luminosidad (L) de los panes de molde que tienen sustitución entre 5-15% de harina de chía sin desgrasar y de 5-15% de harina de chía desgrasada. Tomando en cuenta esta medida los valores de luminosidad (L) para sustituciones con harina de chía sin desgrasar están ( $75.75 \pm 0.2$  -  $60.25 \pm 0.12$ ) y para sustituciones con harina de chía desgrasada están ( $75.73 \pm 0.2$  -  $50.19 \pm 0.08$ ). Cabe mencionar que en todo los niveles de sustitución los valores de luminosidad (L) con sustituciones de harina de chía sin desgrasar son ligeramente mayores que con sustitución de chía desgrasada. Lo que demuestra que el color inherente de la fuente de fibra de la harina de chía desgrasada influencio en el color de luminosidad final de la miga del pan de molde. Según Urbina, 2015. La luminosidad (L) es una indicación sobre el aspecto luminoso del color estudiado: cuanto más oscuro es el color, la luminosidad es más débil. Esto lo damos a representar en la sustitución de (5% harina de cañihua y 5% harina de chía) adoptando un color más saturado en la miga en comparación con el 5% harina de quinua representando valores 70.45 y 68.45, respectivamente.

Como se nota en la tabla 30, los panes de molde obtuvieron valores de cromaticidad (C\*) que fluctúan entre 17.77 - 22.92, dentro de lo cual el control T1 (100% harina de trigo) obtuvo un valor de 17.77 y los valores más cercanos a este valor de cromaticidad los tuvieron el tratamiento T2 (5%

Harina de chía sin desgrasar Y 95% harina de trigo) de 18.43, el tratamiento 3 (7.5%H chía SD y 92.5% harina de trigo) de 19.77 y el T8 (5% Harina de chía desgrasada y 95% harina de trigo) de 17.84.

La figura 37, nos muestra la comparación de los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) de los panes de molde que tienen sustitución (5-15%) de harina de chía sin desgrasar y (5-15%) de harina de chía desgrasada. Tomando en cuenta esta medida los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) para sustituciones con harina de chía sin desgrasar están (18.43-20.78) y para sustituciones con harina de chía desgrasada están (17.84-22.92). Cabe mencionar que en todo los niveles de sustitución los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) con sustituciones de harina de chía sin desgrasar son menores que con sustitución de chía desgrasada. Ahora estos resultados, presentan un incremento gradual en los valores de cromaticidad en la miga de los panes de molde evaluados es decir saturación de color o inversamente la ausencia de mezcla con blanco. Para Silva et al. (2011) El parámetro  $C^*$  en el color de la miga del pan indica su cromaticidad, donde mayores valores de  $C^*$  corresponden a colores más saturados

Los panes de molde obtuvieron valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) que fluctúan entre (89.04-81.35). Dentro de lo cual el control T1 (100% harina de trigo) obtuvo un valor de 89.04 y los valores más cercanos a este valor de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) los tuvieron el T2 (5% harina de chía sin desgrasar Y 95% harina de trigo) de 89.01, el tratamiento 3 (7.5% Harina de chía sin desgrasar y 92.5% harina de trigo) de 89.16 y el T8 (5% Harina de chía desgrasada y 95% harina de trigo) de 89.45.

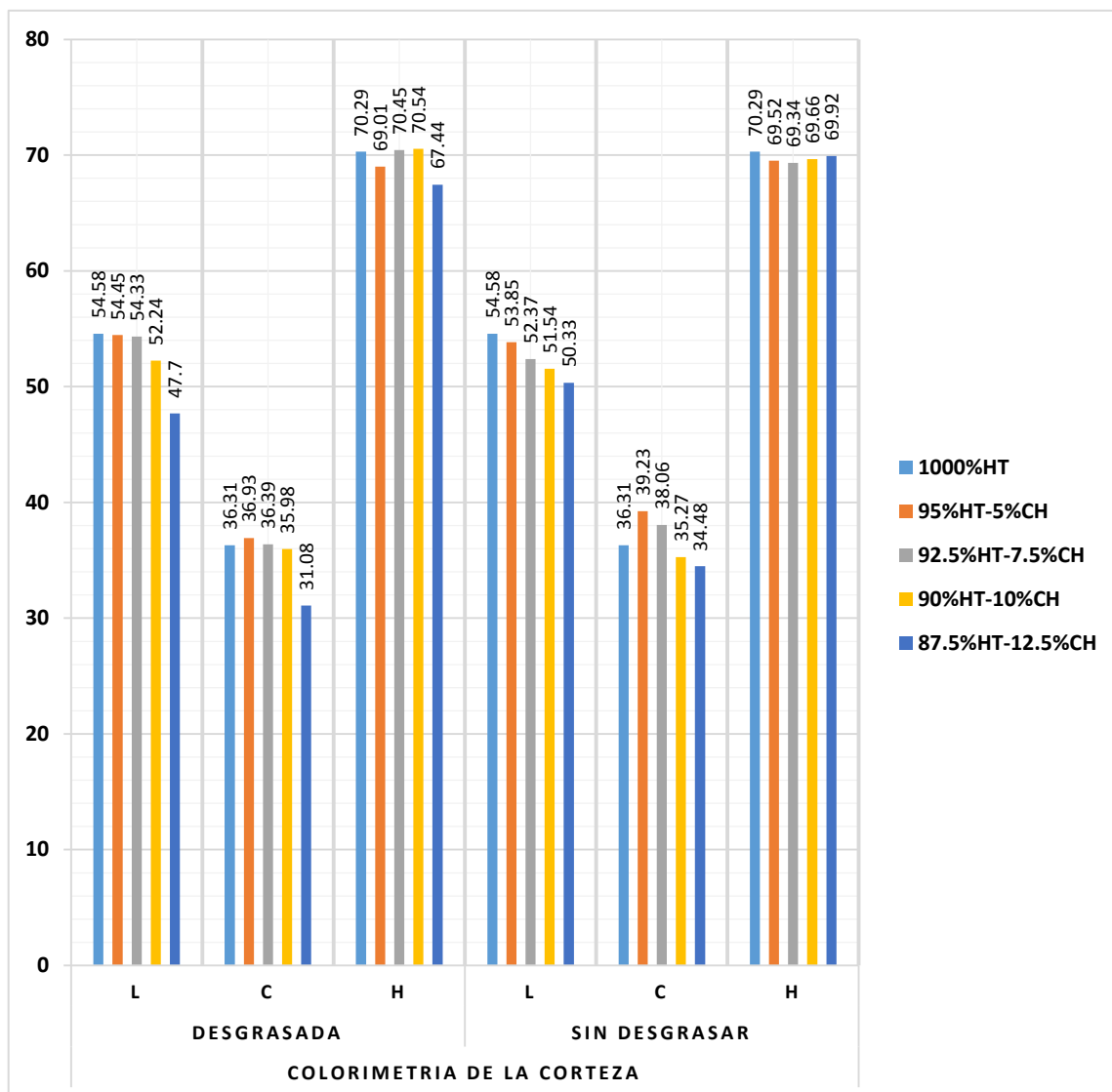
La figura 37, nos muestra la comparación de los valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) de los panes de molde que tienen sustitución (5-15%) de harina de chía sin desgrasar y (5-15%) de harina de chía desgrasada. Tomando en cuenta esta medida los valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) para sustituciones con harina de chía sin desgrasar están (89.1-84.60) y para sustituciones con harina de chía desgrasada están (89.45-81.35). Cabe mencionar que en todo los niveles de sustitución los valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) con sustituciones de harina de chía sin desgrasar son mayores que con sustitución de chía desgrasada. En general el color de la miga está relacionado con el color de las harinas ya que en el interior de la pieza no se superan los  $100^\circ\text{C}$ . También Gómez et al., 2011. encontro valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) para la miga, los cuales estuvieron en el rango de (81.34 a 89.79), con sustituciones de harina de sachu inchi entre 2.5 – 10 % próximos a  $90^\circ$  equivalente a un color amarillo.

#### ❖ **Colorimetría de la corteza del pan**

En la tabla 31, se muestra los valores obtenidos de colorimetría de la corteza de los panes de molde con los diferentes niveles de sustituciones tanto para la harina de chía desgrasada como para la chía sin desgrasar.

**Tabla 31**  
*Colorimetría de la corteza del pan de molde*

Tratamientos	Formulaciones del pan			Colorimetría de la corteza		
	H.T %	H. Chía SD%	H. Chía D %	L	C	H
<b>T1</b>	100	-----	-----	54.58± 0.01	36.31	70.29
<b>T2</b>	95	5	-----	53.85± 0.2	39.23	69.52
<b>T3</b>	92.5	7.5	-----	52.37± 0.09	38.06	69.34
<b>T4</b>	90	10	-----	51.54± 0.08	35.27	69.66
<b>T5</b>	87.5	12.5	-----	50.33± 0.06	34.38	69.91
<b>T6</b>	85	15	-----	49.65± 0.09	33..58	69.45
<b>T7</b>	100	-----	-----	54.58± 0.01	36.31	70.29
<b>T8</b>	95	-----	5	54.45± 0.01	36.93	69.01
<b>T9</b>	92.5	-----	7.5	54.33± 0.02	36.39	70.45
<b>T10</b>	90	-----	10	52.24± 0.04	35.98	70.54
<b>T11</b>	87.5	-----	12.5	47.70± 0.08	31.08	67.44
<b>T12</b>	85	-----	15	45.97± 0.12	30.04	65.41



**Figura 38:** Gráfico de barras de colorimetría de la corteza de los panes de molde enriquecidos con chía desgrasada y sin desgrasar

Como se observa en la tabla 31, los panes de molde obtuvieron valores de luminosidad (L) que fluctúan entre  $(54.58 \pm 0.01 - 45.97 \pm 0.12)$ . Dentro de lo cual el control T1 (100% harina de trigo) obtuvo un valor de  $54.58 \pm 0.01$  y los valores más cercanos a este valor de luminosidad los tuvieron el tratamiento 2 (5% Harina chía sin desgrasar y 95% Harina de trigo) de  $53.85 \pm 0.2$ , el tratamiento 3 (7.5% Harina chía sin desgrasar y 92.5% Harina de trigo) de  $52.37 \pm 0.09$ , el tratamiento 8 (5% Harina de chía desgrasada



y 95% Harina de trigo) de  $54.45 \pm 0.01$  y el tratamiento 9 (7.5% Harina de chía desgrasada y 92.5% Harina de trigo) de  $54.33 \pm 0.02$ . Ahora todos los panes de molde representan hacer más oscuros prolongadamente al control T1, demostrando la reducción en los valores de luminosidad.

La figura 38, nos muestra la comparación de los valores de luminosidad (L) de los panes de molde que tienen sustitución (5-15%) de harina de chía sin desgrasar y (5-15%) de harina de chía desgrasada. Tomando en cuenta esta medida los valores de luminosidad (L) para sustituciones con harina de chía sin desgrasar están ( $53.85 \pm 0.2$  -  $49.65 \pm 0.09$ ) y para sustituciones con harina de chía desgrasada están ( $54.45 \pm 0.01$  -  $45.97 \pm 0.12$ ). Cabe mencionar que en todo los niveles de sustitución los valores de luminosidad (L) con sustituciones de harina de chía sin desgrasar son menores que con sustitución de chía desgrasada. Lo que demuestra que el color inherente de la fuente de fibra de la harina de chía desgrasada influencio en el color de luminosidad final de la corteza del pan de molde.

Según Urbina, 2015. La luminosidad (L) es una indicación sobre el aspecto luminoso del color estudiado: cuanto más oscuro es el color, la luminosidad es más débil. Esto lo damos a representar en la sustitución de (5% harina de cañihua y 5% harina de chía) adoptando un color más saturado en la corteza en comparación con el 5% harina de quinua representando valores  $50.33 \pm 0.2$  y  $54.45 \pm 0.02$ , respectivamente.

Como podemos notar en la tabla 31, los panes de molde obtuvieron valores de cromaticidad (C\*) que fluctúan entre 36.31 - 30.04, dentro de lo cual el control T1 (100% harina de trigo) obtuvo un valor de 36.31 y los valores más

cercanos a este valor de cromaticidad los tuvieron el tratamiento 2 (5% Harina de chíá sin desgrasar y 95% Harina de trigo) de 39.23, el tratamiento 8 (5% Harina de chíá desgrasada y 95% Harina de trigo) de 36.93 y el tratamiento 9 (7.5% Harina de chíá desgrasada y 92.5% Harina de trigo) de 36.39.

La figura 38, nos muestra la comparación de los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) de los panes de molde que tienen sustitución (5-15%) de harina de chíá sin desgrasar y (5-15%) de harina de chíá desgrasada. Tomando en cuenta esta medida los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) para sustituciones con harina de chíá sin desgrasar están (39.23-33.58) y para sustituciones con harina de chíá desgrasada están (36.93-30.04). Cabe mencionar que en todo los niveles de sustitución los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) con sustituciones de harina de chíá sin desgrasar son mayores que con sustitución de chíá desgrasada. Ahora estos resultados, presentan un incremento gradual en los valores de cromaticidad en la corteza de los panes de molde evaluados es decir saturación de color o inversamente la ausencia de mezcla con blanco. Para Silva et al., (2011). El parámetro  $C^*$  en el color de la corteza del pan indica su cromaticidad, donde mayores valores de  $C^*$  corresponden a colores más saturados.

En la tabla 31 los panes de molde obtuvieron valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) que fluctúan entre 70.29-65.41, dentro de lo cual el control T1 (100% harina de trigo) obtuvo un valor de 70.29 y los valores más cercanos a este valor de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) los tuvieron el tratamiento 2 (5% H chíá SD Y 95% H trigo) de 69.52, el tratamiento 3 (7.5% Harina de chíá sin desgrasar y 92.5% harina de trigo)) de

69.34 y el tratamiento 9 (7.5% Harina de chía desgrasada y 92.5% harina de trigo) de 70.25.

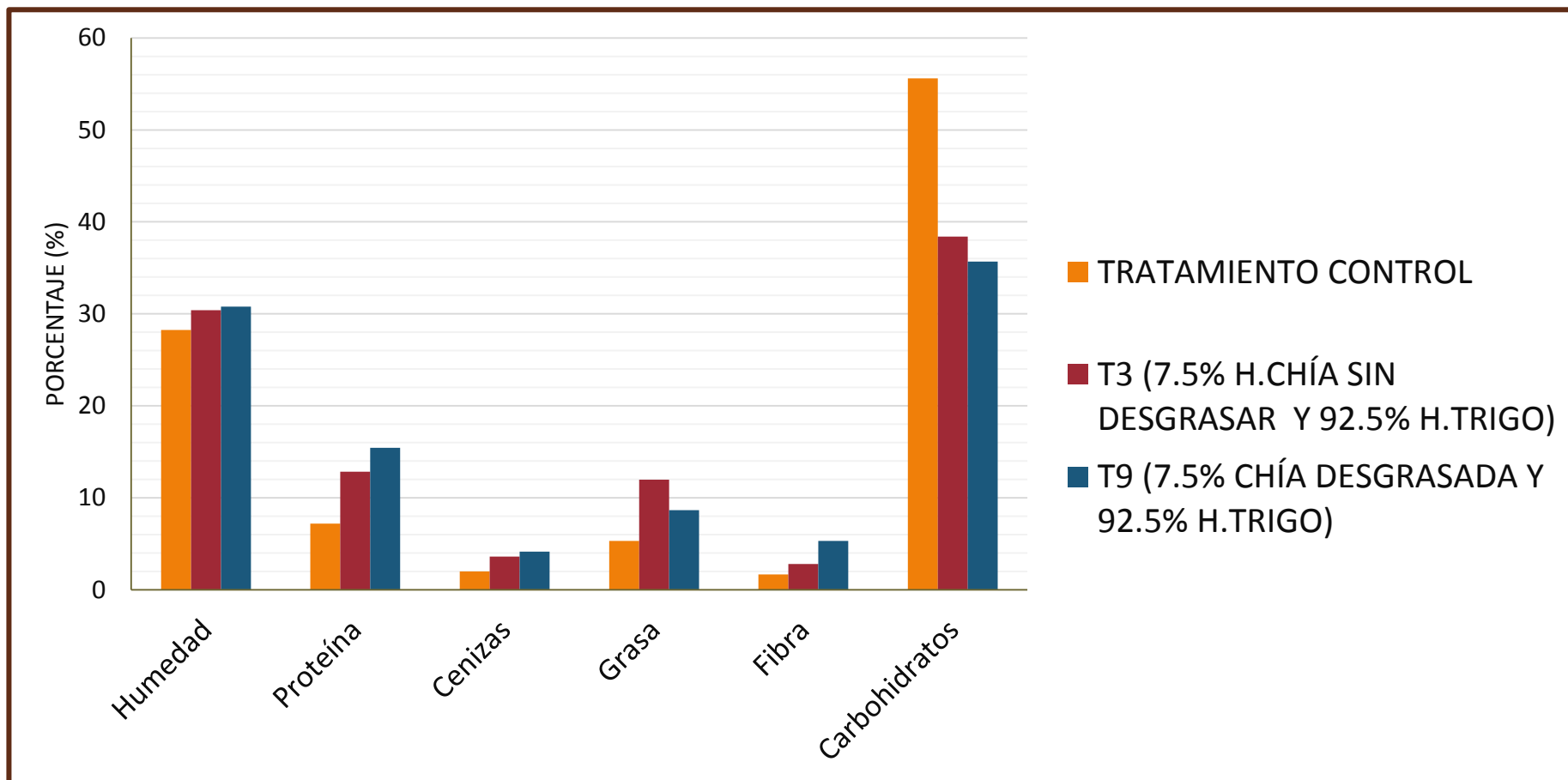
La figura 38, nos muestra la comparación de los valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) de los panes de molde que tienen sustitución (5-15%) de harina de chía sin desgrasar y (5-15%) de harina de chía desgrasada. Tomando en cuenta esta medida los valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) para sustituciones con harina de chía sin desgrasar están (69.52-69.34) y para sustituciones con harina de chía desgrasada están (69.01- 65.41). Cabe mencionar que en todo los niveles de sustitución los valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) con sustituciones de harina de chía sin desgrasar son menores que con sustitución de chía desgrasada. En general el color de la corteza está relacionado con el color de las harinas ya que en el interior de la pieza no se superan los  $100^\circ\text{C}$ . También Gómez et al., 2011. encontro valores de ángulo de tonalidad ( $h^\circ$ ) para la corteza, los cuales estuvieron en el rango de 67.72 a 74.56, con sustituciones de harina de Sacha Inchi entre (2.5 – 10) % lejos de  $90^\circ$  equivalente a un color rojo.

#### 4.3.2. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL PAN DE MOLDE

**Tabla 32**

*Composición química del pan de molde control y mejores tratamientos (T3 y T9) por 100g de porción comestible.*

<b>COMPONENTES (%)</b>	<b>TRATAMIENTO CONTROL</b>	<b>T3 (7.5% H.CHÍA SIN DESGRASAR Y 92.5% H.TRIGO)</b>	<b>T9 (7.5% CHÍA DESGRASADA Y 92.5% H.TRIGO)</b>
<b>Humedad</b>	28.24 ± 0.02	30.39 ± 0.13	30.78 ± 0.15
<b>Proteína</b>	7.18	12.82	15.44
<b>Cenizas</b>	1.98 ± 0.13	3.61 ± 0.14	4.15 ± 0.12
<b>Grasa</b>	3.32 ± 0.09	11.08 ± 0.03	8.64 ± 0.05
<b>Fibra</b>	1.67 ± 0.08	3.81 ± 0.1	6.32 ± 0.06
<b>Carbohidratos</b>	57.61	38.39	35.67



**Figura 39:** Gráfica de barras de la composición química del pan de molde control y mejores tratamientos (T3 y T9).

#### 4.3.2.1. Humedad

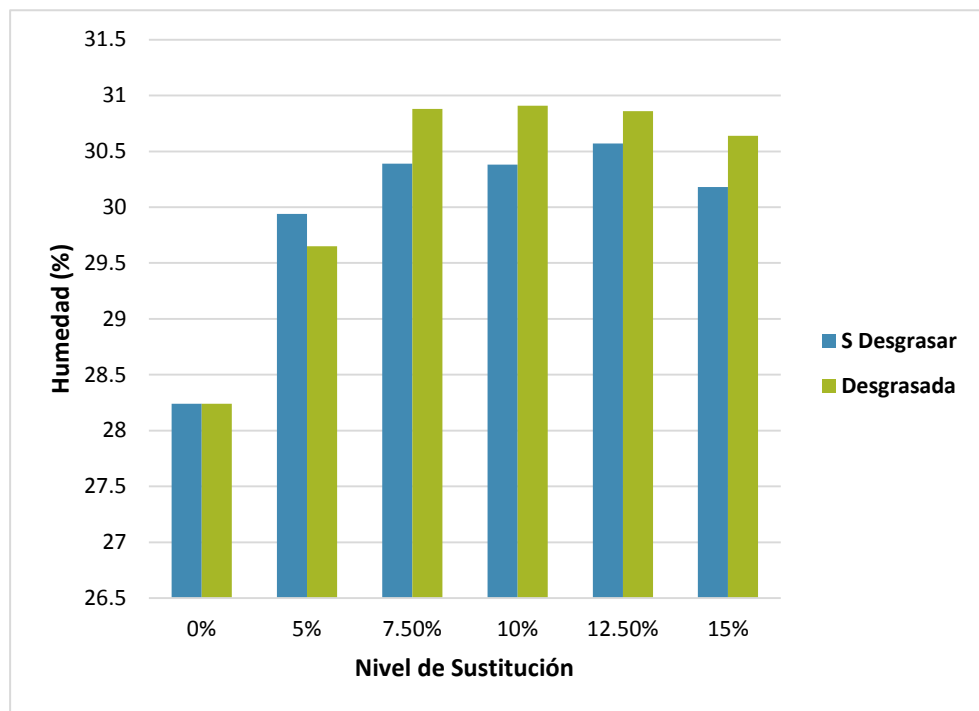
En la tabla 33 se presenta los resultados de humedad de todas las formulaciones de pan de molde con la adición tanto para chía desgrasada y sin desgrasar. La incorporación de la chía tanto desgrasada y sin desgrasar en cada una de sus formulaciones presenta un incremento en los niveles de humedad estos debidamente comparados al pan de molde control (T1 y T7).

**Tabla 33**

*Humedad de todas las formulaciones del pan de molde.*

Tratamientos	Formulaciones del pan			Humedad % X ± S
	HT %	H. chía SD%	H. chía D %	
T1	100	-----	-----	28.24 ± 0.02
T2	95	5	-----	29.94 ± 0.12
T3	92.5	7.5	-----	30.39 ± 0.13
T4	90	10	-----	30.48 ± 0.12
T5	87.5	12.5	-----	30.57 ± 0.2
T6	85	15	-----	30.18 ± 0.5
T7	100	-----	-----	28.24 ± 0.02
T8	95	-----	5	29.65 ± 0.14
T9	92.5	-----	7.5	30.78 ± 0.15
T10	90	-----	10	30.91 ± 0.21
T11	87.5	-----	12.5	30.86 ± 0.3
T12	85	-----	15	30.64 ± 0.7

El contenido de humedad en la composición de los panes de molde incrementa con la sustitución parcial tanto de chía desgrasada y sin desgrasar. Los valores varían entre  $(28.24\pm0.02 - 30.18\pm0.5)$  para el pan de molde con chía sin desgrasar y  $(28.24\pm0.02--30.64\pm0.7)$  para el pan de molde con chía desgrasada.



**Figura 40:** Gráfico de barras de humedad (%) de los panes de molde enriquecidos con chía desgrasada y sin desgrasar.

Dentro de lo cual el control T1 (100% harina de trigo) obtuvo un valor de  $28.94\pm0.02\%$  y los valores más cercanos a este tratamiento con respecto a humedad lo tuvieron el tratamiento 2 (5% H. chía sin desgrasar Y 95% H. trigo) de  $29.94\pm0.12\%$  y el tratamiento 8 (5% H. chía desgrasada y 95% H. trigo) de  $29.65\pm0.14\%$ . Maneju et al. (2011) nos menciona que contenido de humedad en la composición de los panes incrementó con la sustitución de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi de (2.5-10) %, los valores varían entre (28.41% a 31.30%). Estos resultados lo asociaron

debido, Incremento en el contenido de humedad se produjo con el incremento en el contenido de fibra.

La figura 40, nos muestra la comparación de los valores de humedad de los panes de molde que tienen sustitución (5-15%) de harina de chíá sin desgrasar y (5-15%) de harina de chíá desgrasada. Tomando en cuenta esta medida los valores de humedad para sustituciones con harina de chíá sin desgrasar están  $(29.94 \pm 0.12 - 30.18 \pm 0.5)$  % y para sustituciones con harina de chíá desgrasada están  $(29.65 \pm 0.14 - 30.64 \pm 0.7)$  %. Cabe mencionar que en todo los niveles de sustitución los valores de humedad con sustituciones de harina de chíá desgrasada son ligeramente mayores que con sustitución de harina de chíá sin desgrasar.

El incremento en el contenido de humedad ha sido asociado con el contenido de fibra, debido a que la harina de chíá sin desgrasar tiene un porcentaje de fibra  $(24.08 \pm 0.13)$  % y para la harina de chíá desgrasada de  $(32.32 \pm 0.09)$  %, esto hace que el pan de molde con harina de chíá desgrasada presente un mayor contenido de humedad al presentar más porcentaje fibra en todos sus tratamientos como se presenta en la figura 40. De igual forma Aguilar (2012) menciona que aumenta el contenido de humedad en alimentos enriquecidos con chíá, debido a que este presenta contenido de fibra (fibra dietética soluble), la chíá tiene una capacidad de retención de 6.2 g de agua /g de fibra y sobre todo del incremento del contenido de fibra que la chíá aporta de 33.12%, además el contenido de humedad incrementa por causa del tamaño de partícula, ya que teóricamente a menor tamaño de partícula la facilidad de hidratación se aumenta,



por la superficie de contacto que se tiene, debido a que en el pan molde se utilizó harina de chía y no el grano entero.

Como también lo estipula La RM N°1020-2010/MINSA, que establece el límite máximo de humedad permitida para panes elaborados exclusivamente con harina de trigo es de 40%. De acuerdo a nuestros resultados, todas las formulaciones reportaron valores menores al 40% de humedad. Según Esteller et al. (2012) la determinación de humedad es una de las medidas más importantes por ser uno de los principales factores de aceleración de las reacciones químicas y enzimáticas, Además de eso, la alta humedad señala a los productos de panificación pegajosos, favoreciendo el crecimiento de microorganismos, o que puedan interferir en la vida útil.

Baños (2013) realizó investigación a panes con adición de fibra soluble por parte de la sustitución chía donde la fibra soluble conforma un 55.89% de su total de fibra dietética, donde observo que a medida que se incrementaba la fibra soluble también ocurre lo mismo con la humedad de los panes ya que este tiene la capacidad de retener agua.

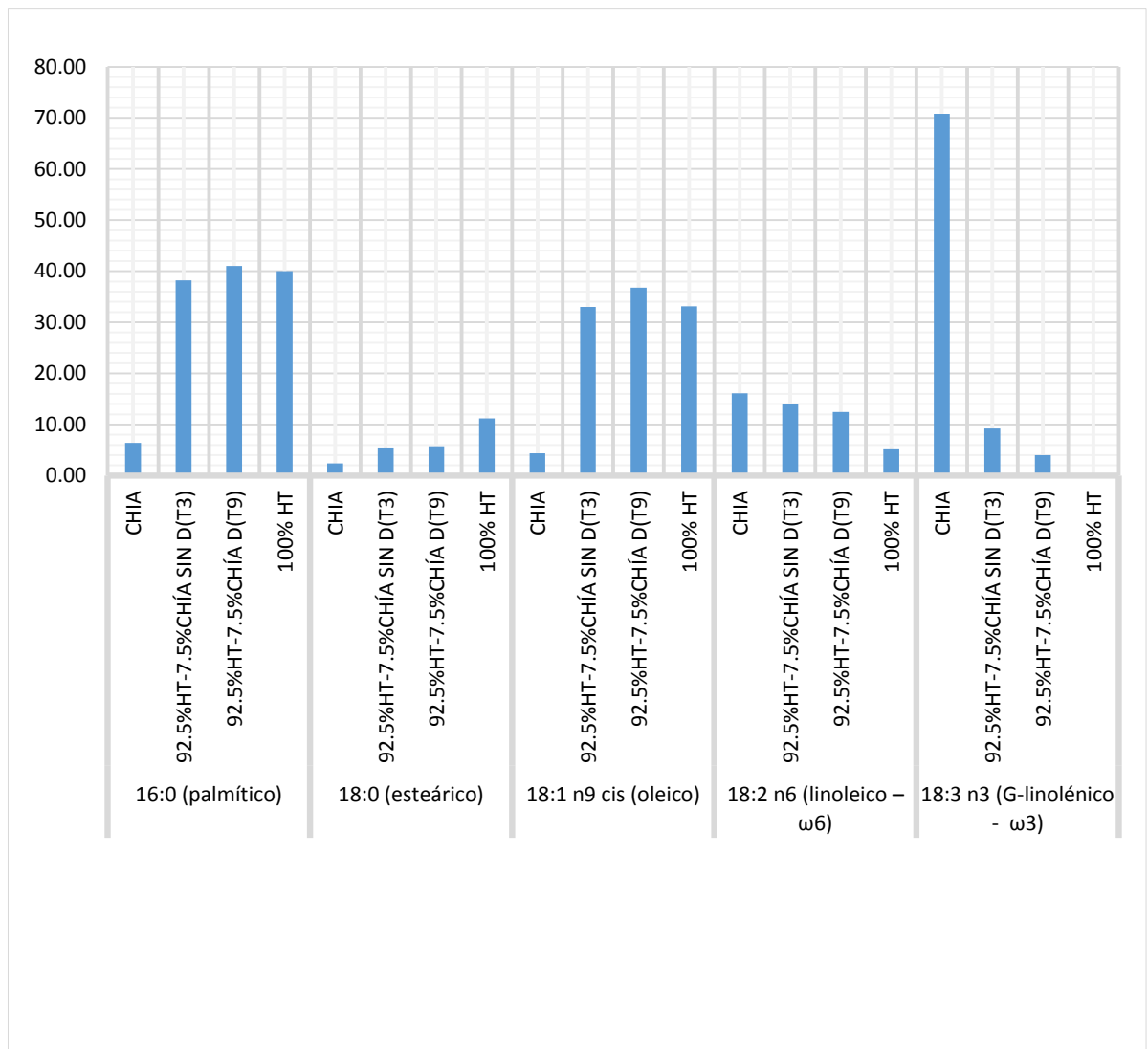
#### 4.3.2.2. Ácidos Grasos

**Tabla 34**

*Perfil de Ácidos Grasos de las harinas y el pan de molde (T3 y T9).*

Ácidos Grasos	100% HT	92.5%HT - 7.5%CHÍA SD (T3)	92.5%HT - 7.5%CHÍA D (T9)	CHÍA
<b>16:0 (palmítico)</b>	39.99	38.240	41.018	6.37807
<b>18:0 (esteárico)</b>	11.22	5.487	5.7121	2.39178
<b>18:1 n9 cis (oleico)</b>	33.12	33.000	36.777	4.35779
<b>18:2 n6 (linoleico – ω6)</b>	5.14	14.042	12.471	16.0773
<b>18:3 n3 (linolénico - ω3)</b>	0.39	9.229	4.0214	70.7950
<b>Suma saturados</b>	51.21	43.727	46.729	8.76985
<b>Suma Insaturados</b>	42.95	56.273	53.270	91.2301

Es posible la incorporación de ácidos grasos a la formulación del pan del pan de molde, ya sea de manera directa o a través de algún ingrediente que los contenga. Una interesante fuente vegetal alternativa para la incorporación de ω6 y ω3 en la dieta es el aceite presente en la harina de chía, sin embargo su elevada susceptibilidad a la oxidación podría dificultar su incorporación en los alimentos.



**Figura 41:** Gráfico de barras del Perfil de Ácidos Grasos de las harinas y el pan de molde (T3 y T9).

Se identificaron y cuantificaron 5 ácidos grasos (AG) del pan de molde de 2 tratamientos de mayor aceptabilidad en el análisis sensorial realizándose una comparación del tratamiento 3(7.5% H. chía SD Y 92.5% H. trigo) y el tratamiento 9 (7.5% H. chía desgrasada y 92.5% H. trigo) con el control (100% harina de trigo) donde presento un nivel de saturación 51.21% y para los tratamientos (3y 9) de (46.729 y 43.727) respectivamente.

Para el tratamiento 3 (7.5% H. chía sin desgrasar y 92.5% H. trigo), en donde se obtuvo niveles de ácidos grasos insaturados presentes en un 56.27%, dentro de los cuales están presentes en monoinsaturados en un 33.00% y también en poliinsaturados en un 23.278 %, lo cual conforma (ácido linoleico  $\omega 6$  en un 14.044% y ácido linolénico  $\omega 3$  en un 9.234%).

Para el tratamiento 9 (7.5% H chía desgrasada y 92.5% H trigo), donde se obtuvo niveles de ácidos grasos insaturados presentes en un 53.270%, dentro de los cuales están presentes en monoinsaturados en un 36.777% y también en poliinsaturados en un 16.497 %, lo cual conforma (ácido linoleico  $\omega 6$  en un 12.471% y ácido linolénico  $\omega 3$  en un 4.021%).

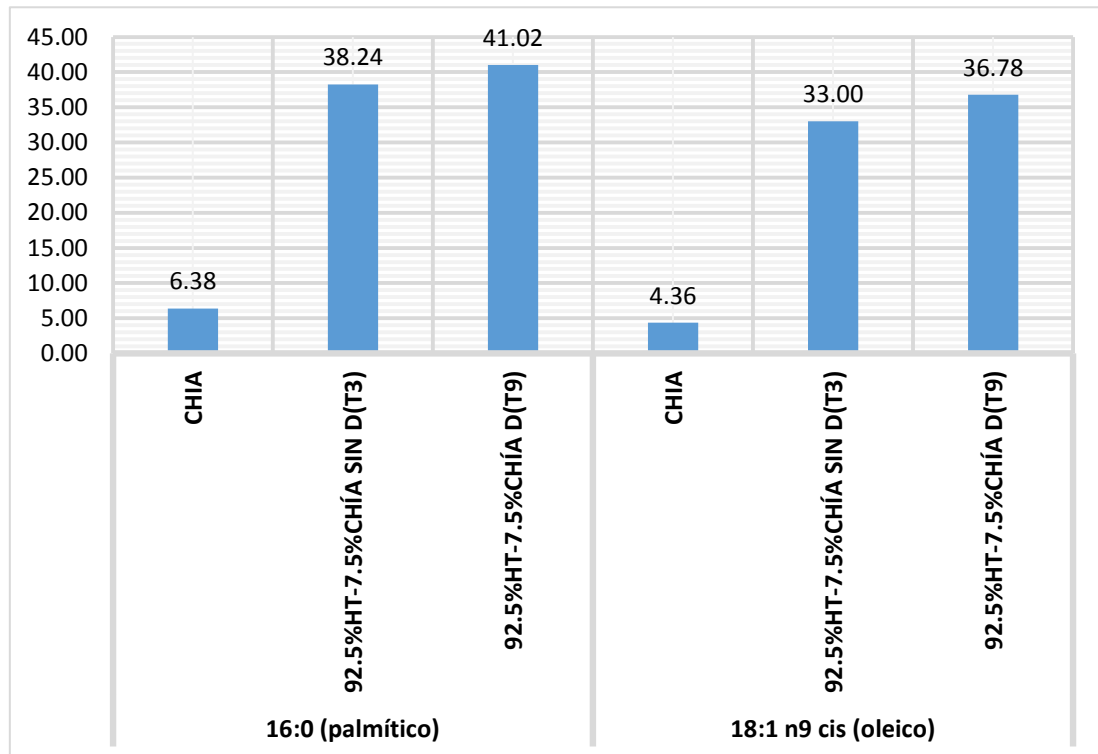
Ramírez (2011) en su investigación aplicó la harina de chía desgrasada en la elaboración de cupcakes para sustituciones de 5% y 7.5% de sus mejores tratamientos, donde encontró resultados que para el 5% de harina de chía desgrasada (ácido linoleico  $\omega 6$  en un 5.471% y ácido linolénico  $\omega 3$  en un 1.521%) y para el 7.5% de harina de chía desgrasada (ácido linoleico  $\omega 6$  en un 7.471% y ácido linolénico  $\omega 3$  en un 2.921%).

Resultados similares fueron obtenidos por Silveira et al. (2014), quienes reportaron en su estudio de sustitución parcial con otra fuente de omega 3 como la chía, valores de 2.85% y 8.10% de ácidos grasos  $\omega$ -3 y -  $\omega$  6 con un nivel de sustitución de 10% en la elaboración de biscochos.

**Tabla 35**

*Perfil de Ácidos Grasos del pan de molde (T3 y T9).*

ÁCIDOS GRASOS	CHÍA	92.5%HT - 7.5%CH SIN DES(T3)	92.5%HT - 7.5%CH DES(T9)
<b>16:0 (PALMÍTICO)</b>	6.38	38.2401206	41.0176578
<b>18:1 N9 CIS (OLEICO)</b>	4.36	33.0003992	36.7773907



**Figura 42:** Ácidos graso palmítico y ácido graso oleico del pan de molde.

El perfil de ácidos grasos mostró que el ácido graso (AG) más abundante en el pan de molde es el ácido palmítico (C16:0), con una concentración de 38.24% en el tratamiento 3 (7.5% H. chía sin desgrasar y 92.5% H. trigo) Y 41.01% para el tratamiento 9 (7.5% H. chía desgrasada y 92.5% H.

trigo). Resultados similares fueron obtenidos por Escobar, 2012, en su estudio comparativo de cuantificación de ácidos grasos trans en el pan de molde blanco e integral reportando concentraciones de 39.57 y 41.81% en niveles de sustitución de (7.5 y 10) % de semilla de chía, donde señala que se debe a la utilización de aceite de palma para la elaboración de las materias primas. El ácido palmítico desde el punto de vista tecnológico es favorable para la plasticidad y estabilidad en productos finales. (Escobar, 2012).

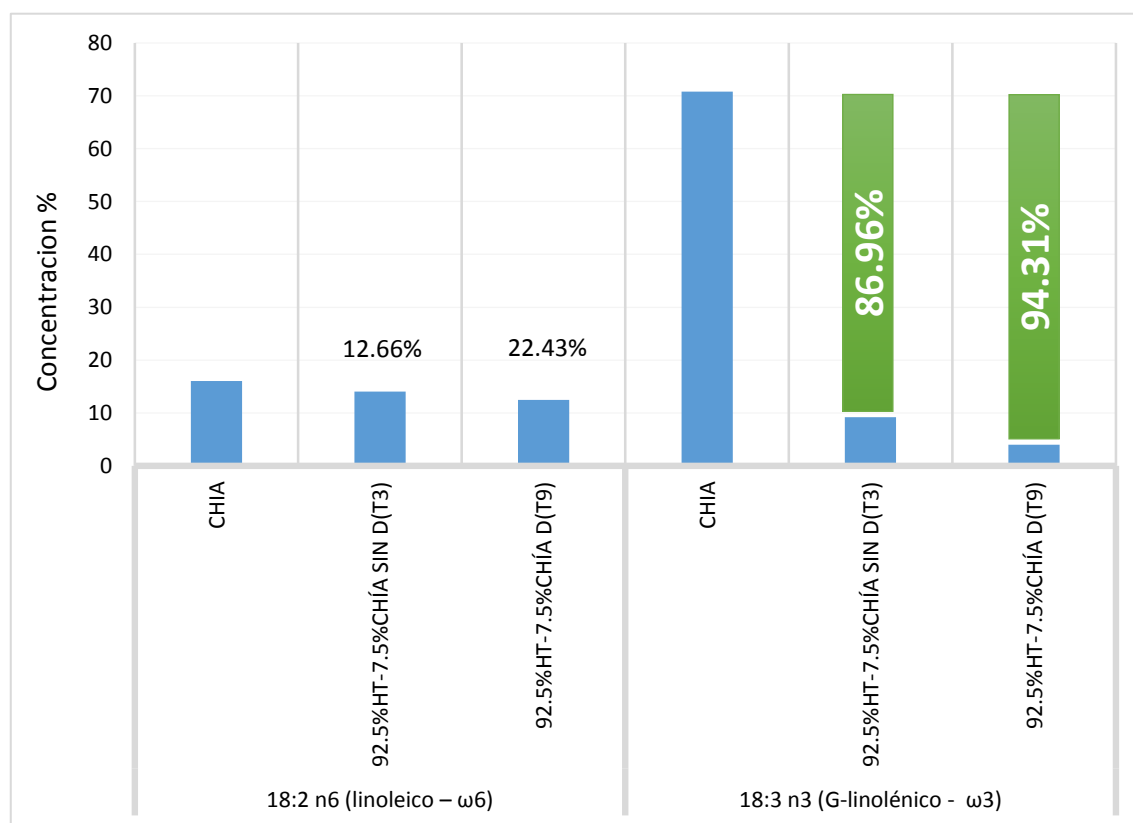
En la figura 42 podemos notar que para el ácidos graso palmítico en el tratamiento 3 (7.5% H. chía sin desgrasada y 92.5% H. trigo) aumento en un 35.01% y para el tratamiento 9 (7.5% H. chía desgrasada y 92.5% H. trigo) aumento en un 37.54%. Para el ácido graso oleico, aumento en 31.64% para el T3 (7.5% H. chía sin desgrasar y 92.5% H. trigo) Y 33.83 % para el T9 (7.5% H. chía desgrasada y 92.5% H. trigo).

Para Silveira et al. (2014) utilizó el aceite de chía para remplazar la sustitución de margarina en la elaboración de panes convencionales. Donde llego a encontrar niveles de aumento de ácido oleico ( $\omega$ - 9) en (22.18% y 23.15%) para sus mejores tratamientos. Estos resultados encontrados lo atribuyen a que el ácido oleico ( $\omega$ - 9) cumple ambas condiciones: beneficia la salud y es estable en alimentos, es 40 veces más resistente a la oxidación que el ácido linoleico.

**Tabla 36**

*Ácidos grasos poliinsaturados de la chía y del pan de molde (T3 y T9).*

ÁCIDOS GRASOS	CHÍA	92.5%HT-7.5%CHÍA SIN D(T3)	92.5%HT-7.5%CHÍA D(T9)
18:2 N6 (LINOLEICO – $\Omega$ 6)	16.08	14.04	12.47
18:3 N3 (G-LINOLÉNICO - $\Omega$ 3)	70.80	9.23	4.02



**Figura 43:** *Ácidos grasos poliinsaturados de la chía y del pan de molde (T3 y T9).*

El ácido graso linoleico ( $\omega$ -6) para el T3 disminuyó en un 12.66% y para el T9 disminuyó en 22.43%, significando una retención de 87.34 % para el T3 y 77.57% para el T9. Para el ácido graso alfa linolenico ( $\omega$ -3), disminuyó en 86.96% para el T3 y 94.31% para el T9.

Esto podría deberse principalmente en que la estabilidad de grasas y aceites es mayor cuanto más baja sea la velocidad de oxidación de los ácidos grasos que lo constituyen. Los ácidos grasos de tipo poli-insaturado (w-3/ w-6), propios de semillas convencionales son saludables pero no alcanzan la estabilidad requerida. El ácido oleico (w-9) cumple ambas condiciones: beneficia la salud y es estable en alimentos, es 40 veces más resistente a la oxidación que el ácido linoleico.

Resultados similares fueron obtenidos por Silveira et al., (2014), quienes reportaron en su estudio de sustitución parcial con otra fuente de omega 3 como la chía, valores de 1.85% y 5.10% de ácidos grasos w-3 y w-6 con un nivel de sustitución de 10% en la elaboración de biscochos.

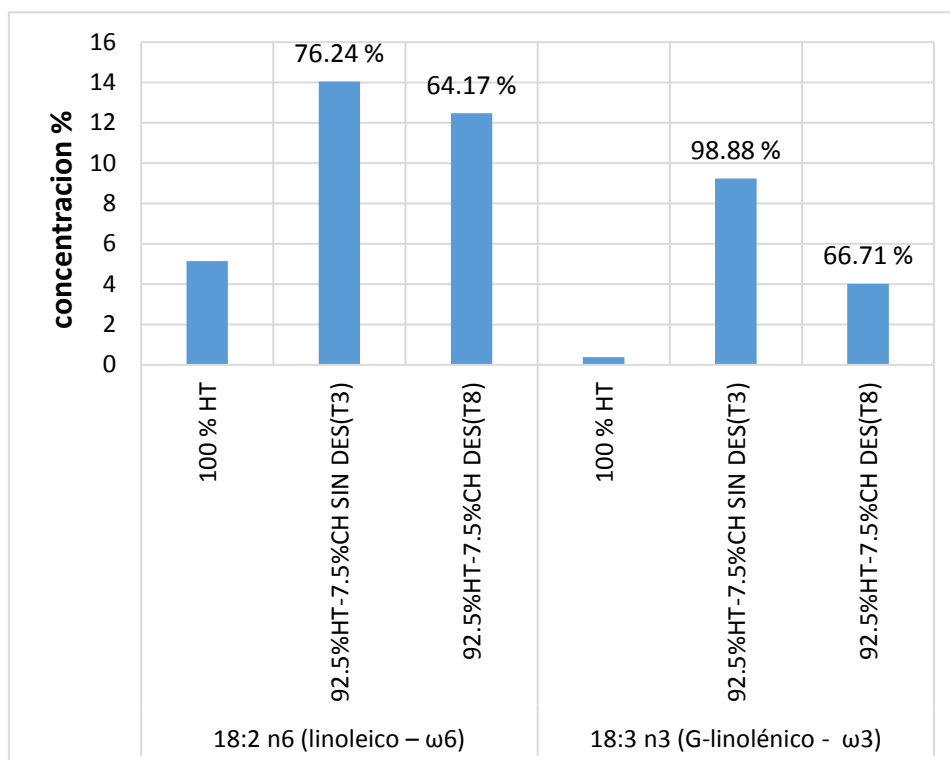
Conforme a la legislación brasileña Anonymus, 2008 citado por Silveira et al. (2014), un alimento puede atribuirse tener propiedades funcionales cuando contiene al menos 0.1 g de ácido grasos omega 3, que ayuda a mantener niveles saludables de triglicéridos en 100 gr de producto.

**Tabla 37**

*Ácidos grasos poliinsaturados del pan de molde (T3 y T9).*

<b>Ácidos Grasos</b>	<b>100% HT</b>	<b>92.5%HT-7.5%CHÍA SD(T3)</b>	<b>92.5%HT-7.5%CHÍA D(T9)</b>
<b>18:2 n6 (linoleico – ω6)</b>	5.14	14.0424447	12.4714388
<b>18:3 n3 (G-linolénico - ω3)</b>	0.39	9.22983102	4.02142271





**Figura 44:** Ácidos grasos poliinsaturados del pan de molde (T3 y T9).

Para el ácido graso linoleico en el T3 (7.5% H. chía sin desgrasar y 92.5% H. trigo) aumento en un 76.24% y para el T9 (7.5% H chía desgrasada y 92.5% H trigo) aumento en 64.17%, con comparación al pan de molde control. Para el ácido graso alfa linolenico, aumento en 98.88% para el T3 (7.5% H. chía sin desgrasar y 92.5% H. trigo) y 66.71 % para el T9 (7.5% H. chía desgrasada y 92.5% H. trigo).

Los resultados obtenidos en este estudio para el contenido de ácido linolénico ( $\omega$ -3) lo ubican dentro del rango adecuado de ingesta de ácidos grasos esenciales recomendados por la (FAO; 2012), en el que sugiere una ingesta de (0.5 – 5) % de omega 3; y (2.5 – 10) % de Omega 6. En el caso del ácido linoleico ( $\omega$ -6) está dentro de lo recomendado y linolenico ( $\omega$ -3) supera las recomendaciones de la FAO.

#### **4.3.3. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PAN DE MOLDE**

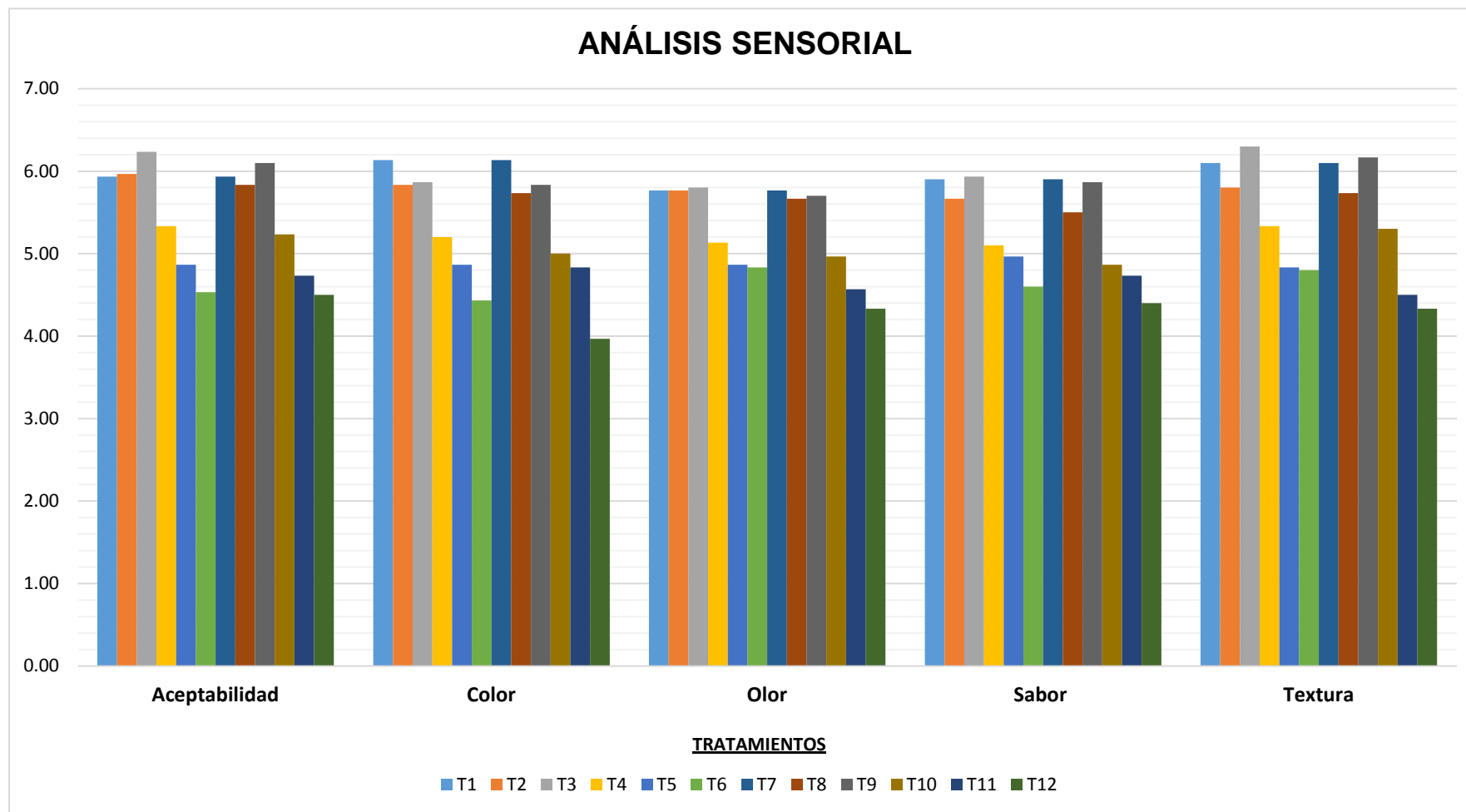
Los atributos de color, aroma, sabor y la textura de un producto de panificación son para el consumidor criterios clave de calidad y, naturalmente, se hallan en el centro de las preocupaciones de la panadería. Ningún aparato de medición puede evaluar con precisión estos criterios, con excepción de los paneles de catadores. Estas pruebas realizadas se evaluaron con una escala hedónica de 7 puntos. Se evaluó la aceptabilidad, los atributos, apariencia, color, olor, sabor y textura de los panes de molde desarrollados.

La evaluación sensorial se realizó con 30 panelistas no entrenados de ambos sexos y de diferentes grupos de edad.

**Tabla 38**

*Valores medios de la evaluación sensorial de los panes adicionados con harina de chía desgrasada y sin desgrasar.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Aceptabilidad</b>	<b>Color</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>
<b>T1</b>	5.93 ± 0.15	6.13 ± 0.19	5.77 ± 0.20	5.90 ± 0.21	6.10 ± 0.21
<b>T2</b>	5.97 ± 0.15	5.83 ± 0.18	5.77 ± 0.18	5.67 ± 0.22	5.80 ± 0.18
<b>T3</b>	6.23 ± 0.12	5.87 ± 0.16	5.80 ± 0.17	5.93 ± 0.17	6.30 ± 0.12
<b>T4</b>	5.33 ± 0.14	5.20 ± 0.20	5.13 ± 0.17	5.10 ± 0.19	5.33 ± 0.14
<b>T5</b>	4.87 ± 0.15	4.87 ± 0.20	4.87 ± 0.18	4.97 ± 0.21	4.83 ± 0.19
<b>T6</b>	4.53 ± 0.16	4.43 ± 0.18	4.83 ± 0.18	4.60 ± 0.18	4.80 ± 0.18
<b>T7</b>	5.93 ± 0.15	6.13 ± 0.19	5.77 ± 0.20	5.90 ± 0.21	6.10 ± 0.21
<b>T8</b>	5.83 ± 0.15	5.73 ± 0.17	5.67 ± 0.19	5.50 ± 0.16	5.73 ± 0.18
<b>T9</b>	6.10 ± 0.13	5.83 ± 0.17	5.70 ± 0.16	5.87 ± 0.18	6.17 ± 0.14
<b>T10</b>	5.23 ± 0.16	5.00 ± 0.18	4.97 ± 0.17	4.87 ± 0.17	5.30 ± 0.17
<b>T11</b>	4.73 ± 0.18	4.83 ± 0.20	4.57 ± 0.14	4.73 ± 0.20	4.50 ± 0.15
<b>T12</b>	4.50 ± 0.17	3.97 ± 0.17	4.33 ± 0.18	4.40 ± 0.20	4.33 ± 0.14



**Figura 45:** Valores medios de la evaluación sensorial de los panes adicionados con harina de chía desgrasada y sin desgrasa para los diferentes tratamientos.

La evaluación sensorial de los diferentes tratamientos en relación a los patrones (T1 y T7) demuestra que, con respecto al atributo de aceptabilidad general, se tiene mayor preferencia al tratamiento T3, T9 y T2 y de menor preferencia al tratamiento T12 y T6.

La evaluación sensorial de los diferentes tratamientos en relación a los patrones (T1 y T7) demuestra que, con respecto al atributo de color, se tiene mayor preferencia al tratamiento T3, T9 y T2 y de menor preferencia al tratamiento T12 y T6.

La evaluación sensorial de los diferentes tratamientos en relación a los patrones (T1 y T7) demuestra que, en el atributo de olor se tiene como indicador más alto al tratamiento T3, T9 y T2 y de menor preferencia al tratamiento T10 y T12.

La evaluación sensorial de los diferentes tratamientos en relación a los patrones (T1 y T7) demuestra que, en el atributo de sabor se tiene como indicador más alto al tratamiento T3, T9 y T2 y de menor preferencia al tratamiento T6 y T12.

La evaluación sensorial de los diferentes tratamientos en relación a los patrones (T1 y T7) demuestra que, con respecto al atributo de textura, se tiene mayor preferencia al tratamiento T3, T9 y T2 y de menor preferencia al tratamiento T10 y T12.

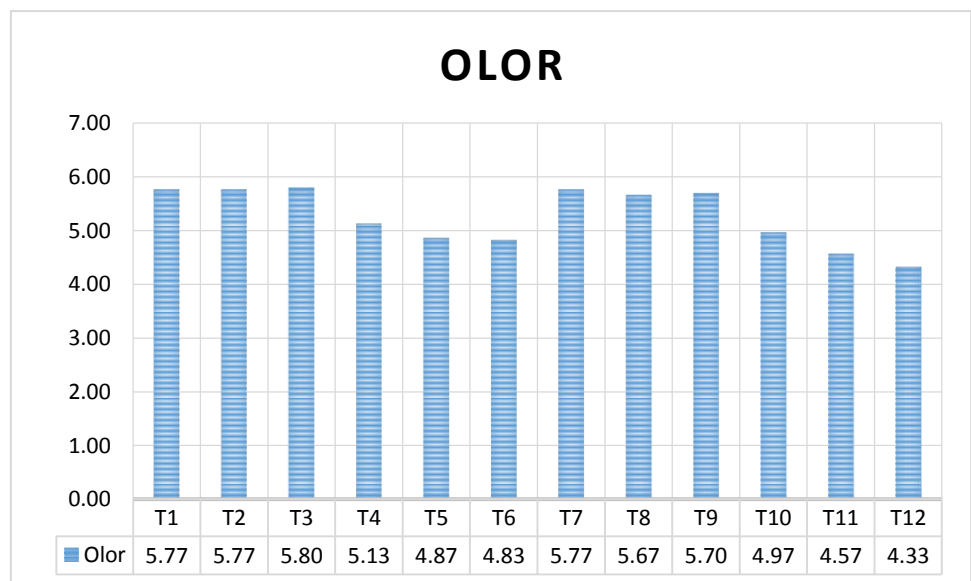
En general, de los resultados de análisis sensorial se observa que los tratamientos T3, T9 y T2 son los que tienen mayores puntajes y poca diferencia significativa.

También se aprecia que, conforme aumenta el nivel de sustitución también disminuye el nivel de aceptabilidad en todas las características.

#### 4.3.3.1. Olor

El aroma es una propiedad sensorial percible por el órgano olfativo cuando ciertas sustancias volátiles son aspiradas. Otras características del olor son la intensidad, la persistencia y la saturación; la primera tiene relación con la propia característica del olor y la concentración; la persistencia también puede estar relacionada indirectamente con la intensidad, aunque más está relacionada al tiempo de duración. Compuestos carbonilos, especialmente aldehídos, contribuyen al aroma y el sabor de productos horneados.

Las medias obtenidas en la tabla 38, muestran que la percepción de los 30 panelistas al pasar por las pruebas sensorial y tomando como atributo el color. Los resultados muestran que las 12 formulaciones de los panes de molde elaborados con chía desgrasada y sin desgrasar, provocan una disminución al incrementar los niveles de sustitución en la aceptación general del aroma.



**Figura 46:** Gráfico de barras para el atributo de Olor

De acuerdo a la figura 46, se observa que los tratamientos (T6, T11 y T12) poseen la media más baja, lo que significa que fueron las que menos gustaron a los panelistas. Esto pudo deberse a que contenía el nivel de sustitución más alto (12.5% y 15%) tanto para harina de chíá sin desgrasar y desgrasada, que involucra un mayor contenido en proteínas y grasas, los cuales podrían haber contribuido a que presenten un aroma intensamente más fuerte y poco común que el ideal (T3 y T9) y que fue detectado por los panelistas. Stanley (2012) hace referencia a ello y sostiene que la calidad del contenido graso de un alimento es un factor determinante de su aceptación o rechazo. Por ejemplo, al ser horneado produce aromas diferentes según el tipo y cantidad de grasa contenida.

Asta et al. (2012) investigaron el efecto de la sustitución de harina de castaña en las propiedades físico-químicas y volátiles en el pan. Encontraron que la harina de castaña era más rica en volátiles que la harina de trigo, con componentes representados como aldehídos (65%), alcoholes (15%) y terpenos (7.6%) frente al perfil aromático de la harina de trigo con alcoholes (73%), furanos (12%) y aldehídos (11 %). Los aldehídos derivan probablemente del proceso de secado con el cual se obtienen la harina, o como Stanley (2012), estos autores encontraron aldehídos en las castañas tostadas demostrando el calentamiento conduce a la peroxidación lipídica seguido de la degradación de ácidos grasos, aldehídos y cetonas. Demostrando claramente que el uso de harinas de fuentes oleaginosas como la castaña en la formulación del pan afecta las propiedades organolépticas como el flavor del producto final.

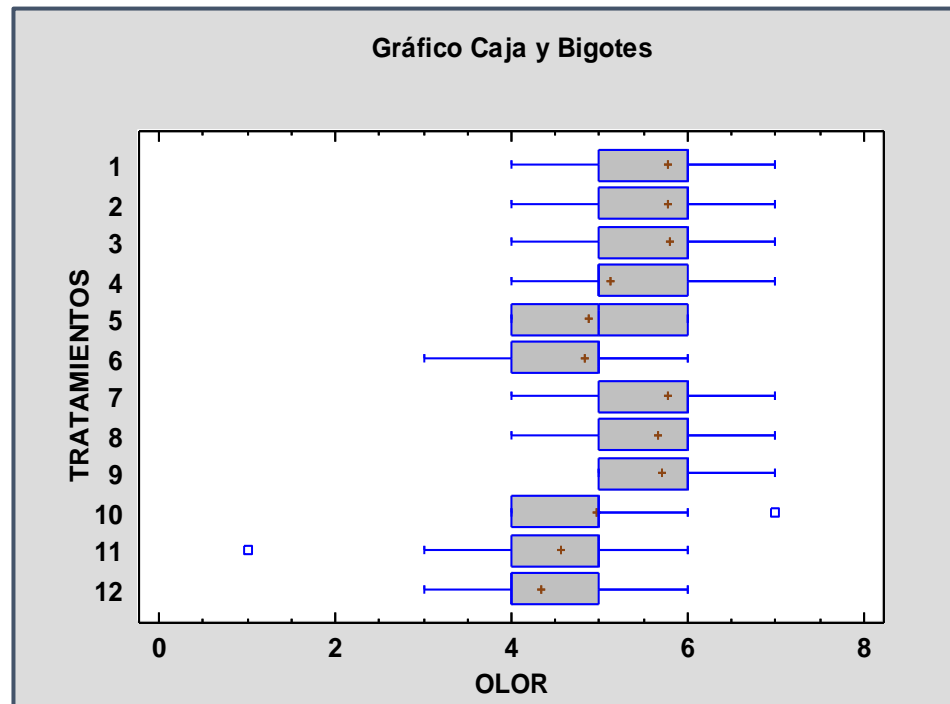
**Tabla 39**  
*Análisis de Varianza para el Olor*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b><u>EFFECTOS</u></b>					
<b><u>PRINCIPALES</u></b>					
<b>A:TIPO HARINA CHIA</b>	3.40278	1	3.40278	4.78	<b>0.0295</b>
<b>B:SUSTITUCION</b>	90.1472	5	18.0294	25.30	<b>0.0000</b>
<b><u>INTERACCIONES</u></b>					
<b>AB</b>	2.41389	5	0.482778	0.68	0.6407
<b>RESIDUOS</b>	247.967	348	0.712548		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	343.931	359			

Los valores prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores (Tipo de Harina de chía y el Nivel de Sustitución) tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el atributo olor con un 95.0% de nivel de confianza.

Se concluye que existen diferencias significativas entre los (T2, T3, T4, T5, T6) con chía desgrasada, (T8, T9, T10, T11, T12) con chía sin desgrasar y los tratamientos control (T1 y T7), las cuales han tenido un efecto positivo para los panelistas sobre el atributo de aroma. Mencionando que alcanzaron puntajes de 6 y 5 en la escala hedónica. Para los tratamientos (T3 y T9) como de observa en la tabla 38.





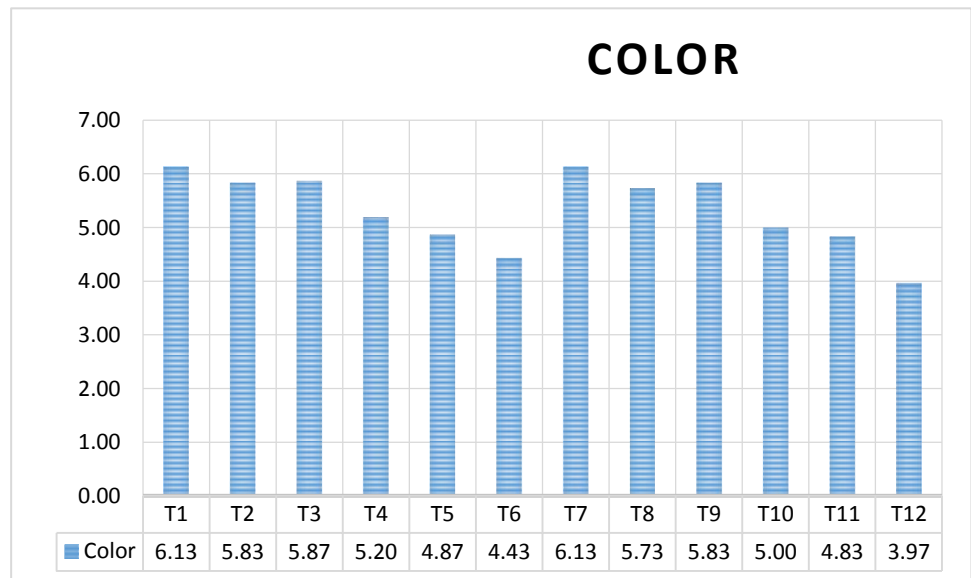
**Figura 47:** Gráfico de cajas para el atributo de Olor

La figura 47, nos indica que los tratamientos (T2, T3, T4, T8 y T9) presentan una menor variabilidad de sus datos indicados por los 30 panelistas en comparación a los tratamientos control T1 y T7, ya que la caja de la gráfica es más pequeña que la de los otros tratamientos y se observa además que a ningún panelista le disgustó, ya que ninguno le asignó un puntaje por debajo de 4. En el caso del tratamiento (T5, T6, T10, T11 y T12), las calificaciones se concentran entre las puntuaciones de 3 y 5, lo que indica que hubo puntuaciones más bajas para éstos tratamientos, lo cual con lleva a deducir que su aroma para las máximas sustituciones no fue completamente de su agrado. Sin embargo, esto no indica cuál de los tratamientos es el mejor calificado, solo revela una tendencia de los datos.



#### 4.3.3.2. Color

El primer contacto del consumidor con el alimento ocurre a través del sentido de la vista. A partir de ello es posible percibir características como el color, forma y el brillo, que influyen en la aceptación (Teixeira, 2011). La mayoría de las personas parece tener una idea clara del color esperado de un producto, basado en su memoria de experiencias pasadas. También refiere que uno de los caracteres organolépticos de un buen pan es su color acaramelado por el exterior (corteza), mientras la miga ha de ser blanca o ligeramente amarilla.



**Figura 49:** Gráfico de barras para el atributo de Olor

Las medias obtenidas en la tabla 38, muestran que la percepción de los 30 panelistas al pasar por las pruebas de análisis sensorial y tomando como uno de los puntos el color. Los resultados muestran que las 12 formulaciones de los panes de molde elaborados con chía desgrasada y sin

desgrasar, provocan una disminución al incrementar los niveles de sustitución en la aceptación general de color de la superficie y la miga.

En la figura 49, se observa la menor media para los tratamientos T6 y T12, la cual contenía el mayor nivel de sustituciones (15% de harina de chía sin desgrasar y chía desgrasada), también se observa un aumento del color marrón que resultó no ser muy agradable para los panelistas ante el atributo de color de los panes de molde. Estos resultados son similares a los obtenidos por Camelo (2013), quien observó que la adición de harina de linaza en panes, ocasionaron una disminución significativa en la aceptación del atributo de color y apariencia en general. Por otro lado, los tratamientos T1 y T9 (100% HT), fueron los que evidenciaron una media más alta, seguida por los tratamientos T3 y T9.

**Tabla 40**  
*Análisis de Varianza para el Color*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b><u>EFFECTOS</u></b>					
<b><u>PRINCIPALES</u></b>					
<b>A:HARINA CHIA</b>	1.73611	1	1.73611	2.35	0.1264
<b>B:SUSTITUCION</b>	160.847	5	32.1694	43.50	<b>0.0000</b>
<b><u>INTERACCIONES</u></b>					
<b>AB</b>	2.31389	5	0.462778	0.63	0.6802
<b>RESIDUOS</b>	257.367	348	0.739559		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	422.264	359			

En los resultados de la tabla 40, se observa un valor de  $p=0.0$ , que resulta menor al nivel de significancia  $0.05$ . En general, los resultados indican que con el incremento del nivel de sustituciones de chía desgrasada y chía sin desgrasar, los panelistas perciben que existe diferencia significativa en la percepción de color de los panes de molde con sus controles (T1 y T7).

En panes elaborados con harina de trigo, el color de la miga va del blanco crema en la miga al marrón claro en la corteza, en función de la tasa de extracción de la harina (Teixeira, 2011). Los panelistas durante la calificación, mostraron su mejor aceptación para las formulaciones (T2, T3, T8 y T9) obtuvieron puntajes bien cercanos respectivamente a la formulación sin sustitución alguna T1 y T7, constatando que estadísticamente existen diferencias significativas a un  $p>0.05$ . Se infiere que esto se deba a que presentaron el color blanco crema o blanco ligeramente amarillento característico.

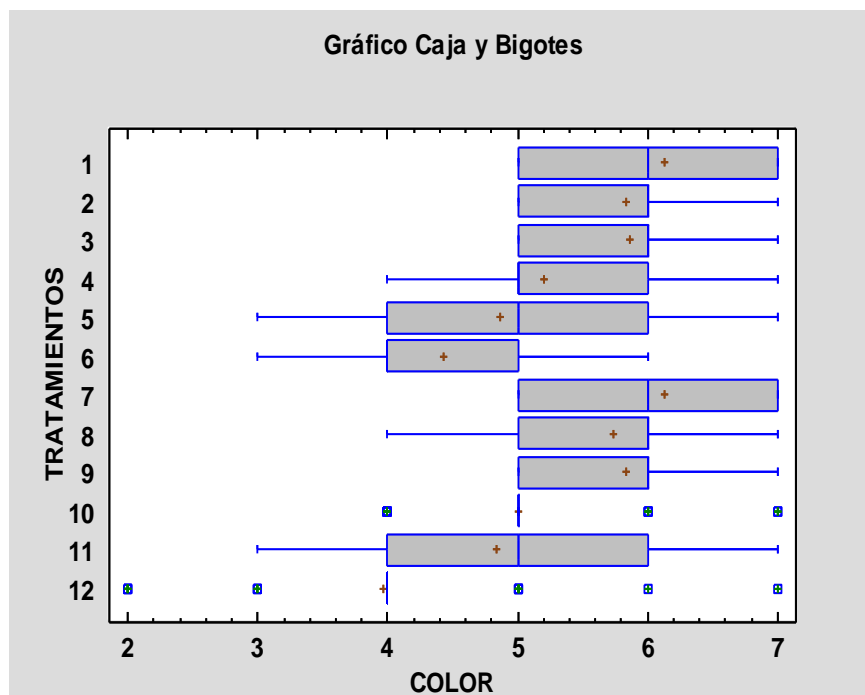
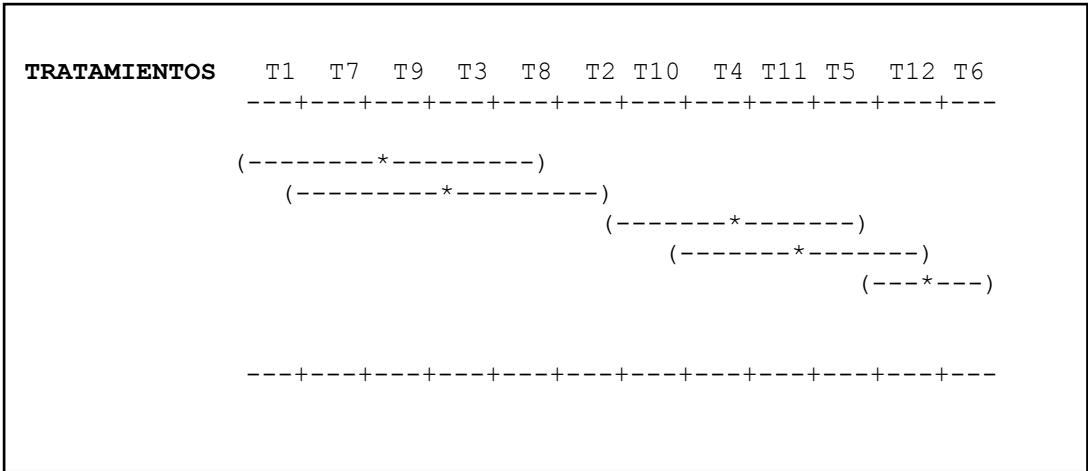


Figura 50: Gráfico de cajas para el atributo de color



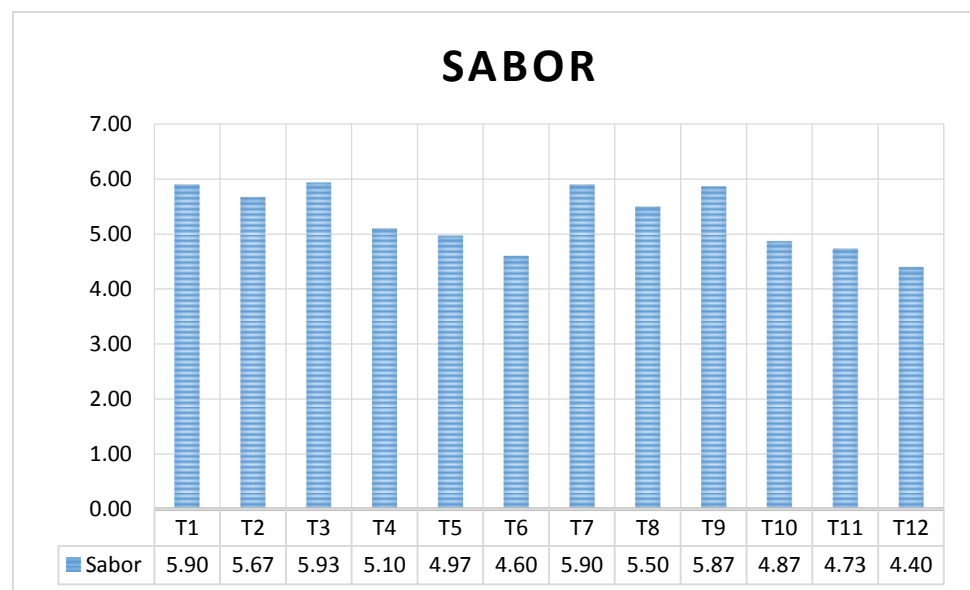
**Figura 51:** Tabla de Duncan para el atributo de Color

En la figura 51, se puede observar que los tratamientos T9, T3 y T8 son los que alcanzaron valores de media bien cercanos al de tratamiento control T1 y T7, y que al parecer presentan características comunes que los hacen ser considerados con un color atractivo para la vista de los panelistas, mientras que los tratamientos con la menor media fueron el T2 y T6 respectivamente.

#### 4.3.3.3. Sabor

La percepción de las características sensoriales de los alimentos se da a través de interacción de las sustancias que los compone con los llamados receptores encontrados en la boca. Se sabe hoy en día de la existencia de tres tipos de receptores que son los responsables de producir las sensaciones primarias del gusto, los cuales son: ácido, salado, dulce y amargo. Estos a su vez se pueden combinar formando diversos otros sabores (Guyton y Hall, 2013). El sabor es el mayor componente del flavor en el pan y desempeña un papel determinante en la preferencia de los consumidores.

Las medias obtenidas en la tabla 38, muestran la percepción de los 30 panelistas al realizar las pruebas sensoriales y tomando como atributo el sabor, provocan una disminución al incrementar los niveles de sustitución en la aceptación general del sabor.



**Figura 52:** Gráfico de barras para el atributo de Sabor

De acuerdo a la figura 52, se observa que los tratamientos T6 y T12 posee la media más baja, lo que significa que fue la que menos gustó a los panelistas. Esto pudo deberse a que contenía el más alto nivel de sustitución de chía sin desgrasar y desgrasada de (15%). Asimismo, le siguen los tratamientos T5 y T10 y T11 que también consiguieron valores de medias bajas, pero que a la vez no presentan diferencias significativas.

Los tratamientos T1, T3, T7 y T9 alcanzaron valores de media más altos, lo cual indica que a los 30 panelistas les agradó mucho.

La harina tiende a tener un sabor bastante suave derivado principalmente del aceite del germen (embrión) y de las partículas de salvado presente. Stanley (2002) manifiesta que al igual que los lípidos, los carbohidratos tienen un papel preponderante en las características de aroma y sabor. Como se mencionó antes, los carbohidratos incluyen compuestos de bajo peso molecular que participan directamente como agentes del sabor, así como oligosacáridos y polisacáridos. Estos últimos carecen de sabor, pero modifican el patrón de percepción. Además, una gran cantidad de compuestos del aroma y sabor provienen de la degradación de carbohidratos que se produce mediante las reacciones de oscurecimiento no enzimático.

Así mismo también respecto al sabor, se ve afectado por que la chía presenta grasa en un 40 % y esos tienden a enrranciamiento o sufren oxidación cuando entran en contacto con el oxígeno y generan sabores desagradables (Guyton y Hall, 2013).



Para el consumidor, las cualidades dominantes del pan son sabor y textura. La degradación del gusto del pan se relaciona con las técnicas de fabricación modernas y la velocidad de la producción en grande del pan.

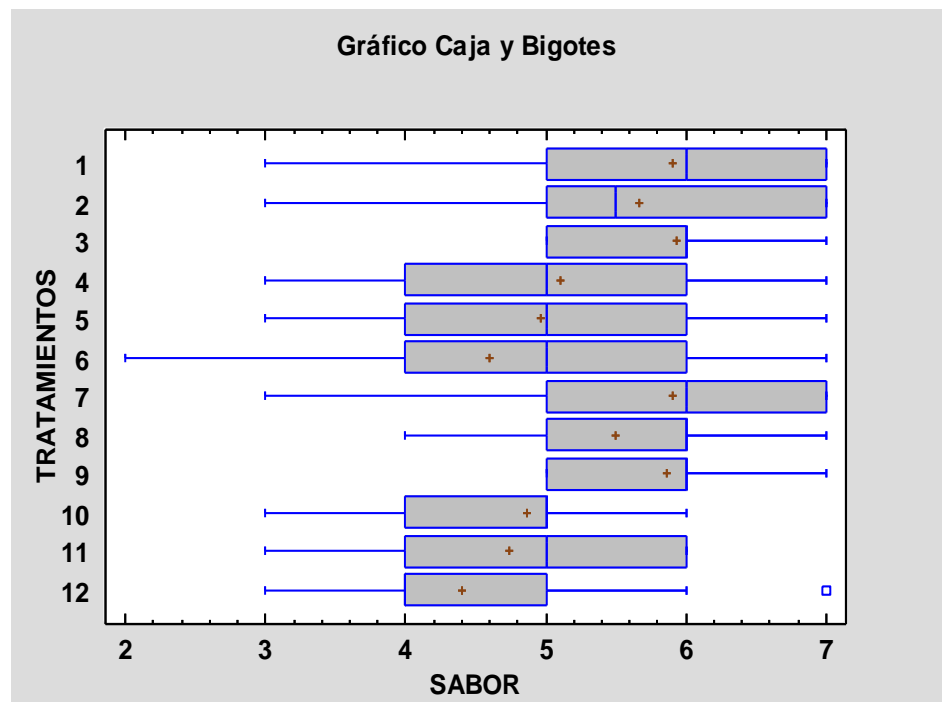
Aparte de los componentes principales de la harina, el azúcar, la levadura, la sal, y otros ingredientes del pan influyen en el sabor muy poco. La mayor parte del sabor se convierte de estas materias primas durante la pasta que se procesa y que cuece al horno. El sabor del pan se forma en el proceso con la oxidación y reacciones enzimáticas y termales. Los compuestos volátiles se evaporan en reacciones oxidativas. Las enzimas producen precursores del sabor en la pasta procesada y en el primero tiempo de la horneada. Los compuestos aromáticos más importantes del pan se forman durante la horneada, cuando las reacciones del calor, por ejemplo la reacción del Maillard y la caramelización, ocurren. Las reacciones enzimáticas y posibles fermentaciones influyen el sabor de la miga de pan, considerando que las reacciones del calor afectan al sabor de la corteza del pan. Consecuentemente, la corteza y la miga del pan tienen diversas características de sabor.

**Tabla 41**  
*Análisis de Varianza para el atributo de sabor*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b><u>EFFECTOS</u></b>					
<b><u>PRINCIPALES</u></b>					
<b>A:HARINA CHIA</b>	2.025	1	2.025	2.07	0.1510
<b>B:SUSTITUCION</b>	104.514	5	20.9028	21.38	<b>0.0000</b>
<b><u>INTERACCIONES</u></b>					
<b>AB</b>	0.691667	5	0.138333	0.14	0.9824
<b>RESIDUOS</b>	340.3	348	0.977874		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	447.531	359			

De acuerdo a los resultados que figuran en la tabla 41, con respecto al nivel de sustitución se observa un valor  $p = 0.0$  se asume que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para el atributo sabor, detectados en mayor o menor grado por los 30 panelistas.

Los panelistas durante la calificación, mostraron su mejor aceptación para las formulaciones (T2, T3, T8 y T9) obtuvieron puntajes bien cercanos respectivamente a la formulación sin sustitución alguna T1 y T7, constatando que estadísticamente existen diferencias significativas en cuanto al sabor a un  $p > 0.05$  con respecto al nivel de sustitución de harina de chía por harina de trigo. Se infiere que esto se debe a que presentaron un sabor ligero de chía a diferencia de un mayor porcentaje de sustitución.



**Figura 53:** Gráfico de cajas para el atributo de sabor

De acuerdo a la figura 50, se observa que el mayor valor de la mediana lo presentan los tratamientos T1 y T7 (los tratamientos control), seguido por los tratamientos T3 y T9. Esto quiere decir que, estos tratamientos presentaron la misma variabilidad en los datos en relación al sabor del pan es decir que, mostraron ser muy agradables en su atributo sabor alcanzando puntajes entre 5 y 7.

Por otro lado, puntajes para T6, T2, T4, T5, T11 y T12 se encuentran dispersos respecto de la mediana, mientras que los puntajes de T3 y T9 están agrupados más cerca de la mediana, presentando menos variabilidad.

Para los tratamientos T6 (5% HT y 15% H.CSD) y T12 (5% HT y 15% H.CD), presentaron una marcada variación de los puntajes dados por los panelistas, por obtener puntajes de 2 por parte de los panelistas, indicando que el sabor de dichos tratamientos no fue de su agrado.

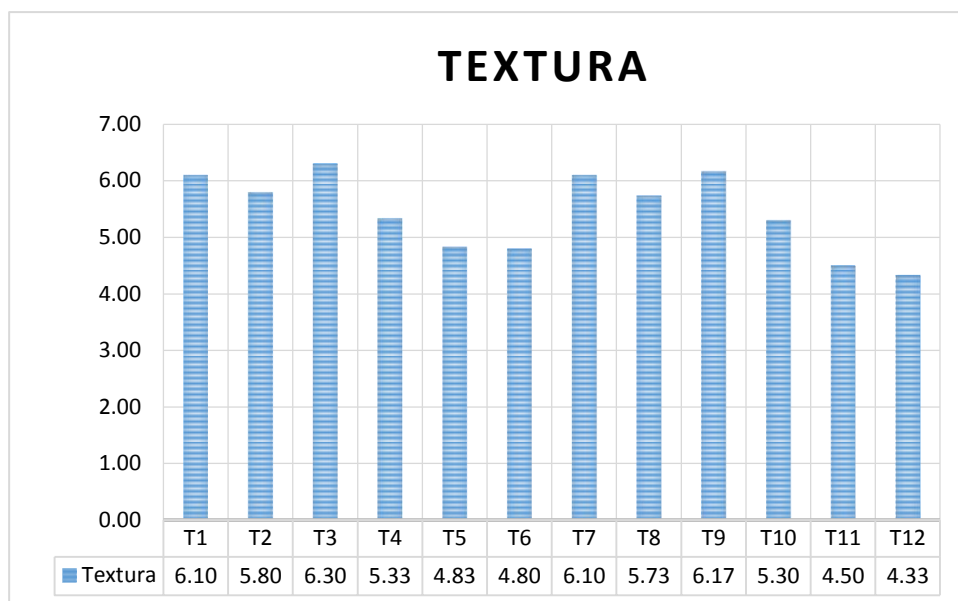


#### **4.3.3.4. Textura**

La textura es la principal característica percibida por el tacto. Es el conjunto de todas propiedades reológicas y estructurales (geométricas y de superficie) de un alimento, percibida por los receptores mecánicos, táctiles y eventualmente por los receptores visuales (ABNT, 1993). La blandura o firmeza de la miga es el atributo de la textura que ha atraído más atención en la estimación de la calidad de la misma, debido, quizás, a la estrecha asociación que tiene con la percepción sensorial de frescura.

Según Lampaya (2011), la miga debe presentar la estructura característica del buen pan y una elasticidad y flexibilidad bien marcadas, al extremo de que, aunque la comprimamos ligeramente, vuelva a levantarse y las que quedan deformadas momentáneamente, vuelvan a abrirse. El pan de mala calidad tiene poca esponjosidad.

Las medias obtenidas en la tabla 37 muestran la percepción de los 30 panelistas al pasar por las pruebas sensorial y tomando como atributo la textura. Los resultados muestran que las 12 formulaciones de los panes de molde elaborados con chía desgrasada y sin desgrasar, provocan una disminución al incrementar los niveles de sustitución en la aceptación general de la textura.



**Figura 55:** Gráfico de barras para el atributo de Textura

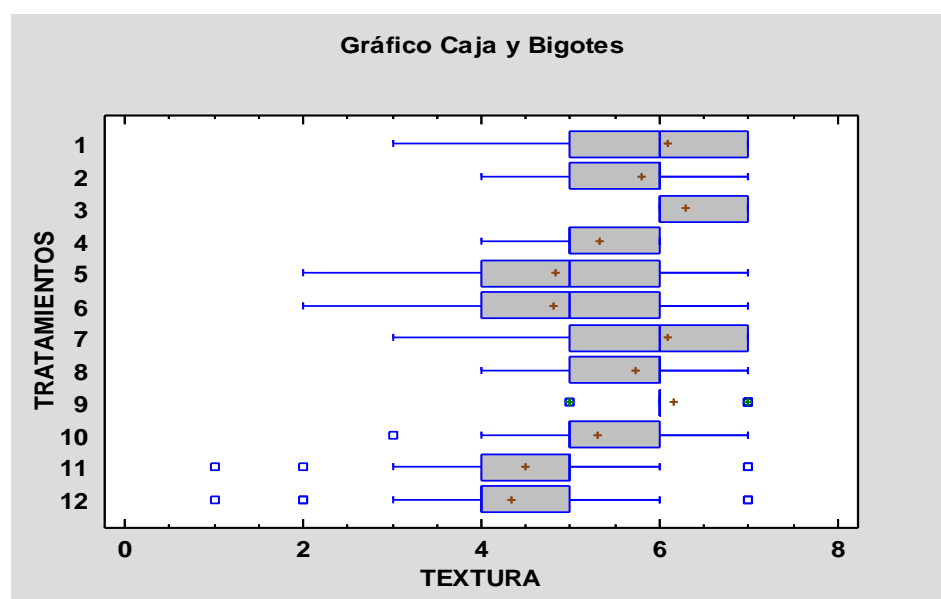
La figura 55, ilustra las medias de los resultados de la evaluación sensorial de textura para los 12 tratamientos, se observa que el tratamiento T3 y T9 (7.5% Chía sin desgrasar y 7.5% Chía desgrasada respectivamente) presentan la mayor media, lo que significa la mayor preferencia por parte de panelistas, seguida por los tratamientos control (T1 y T7).

Por el contrario, se observa que las formulaciones con menor aceptación son los T11, T12 (12.5% y 15% con chía desgrasada), este resultado indica que altos niveles de sustitución influyen negativamente en los puntajes de aceptabilidad del atributo de textura por parte de los panelistas.

**Tabla 42**  
*Análisis de Varianza para el atributo de textura*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b><u>EFFECTOS</u></b>					
<b><u>PRINCIPALES</u></b>					
A:HARINA CHIA	2.66944	1	2.66944	2.90	0.0896
B:SUSTITUCION	152.858	5	30.5717	33.18	0.0000
<b><u>INTERACCIONES</u></b>					
AB	2.61389	5	0.522778	0.57	0.7250
RESIDUOS	320.633	348	0.92136		
TOTAL (CORREGIDO)	478.775	359			

Los resultados de la tabla 42, muestran un valor de p de 0.00, el cual resulta menor al nivel de significancia 0.05, con ello se asume que existen diferencias significativas entre los diferentes niveles de sustituciones para el atributo textura, detectados en mayor o menor grado por los jueces.

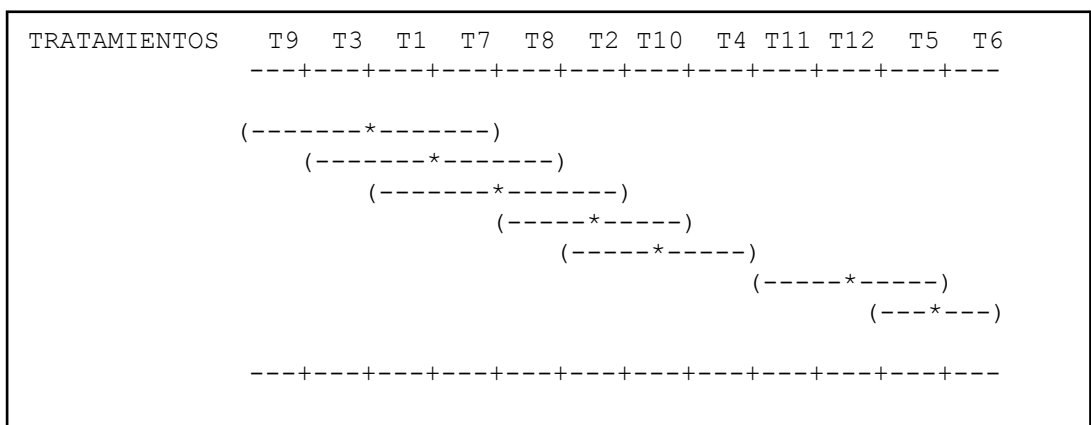


**Figura 56:** Gráfico de cajas para el atributo de textura

Para conocer la variabilidad de los datos se empleó el gráfico de cajas de los valores dados por los panelistas.

En la figura 56, se observa los mayores valores para la mediana en los tratamientos (T3 y T9). Ahora los tratamientos (T11, T12) presentan una mayor variabilidad en sus datos, asimismo muestra asimetría negativa, lo cual indicaría que recibió al menos un puntaje de 1, por parte de un panelista a quien no le atrajo la textura de estos tratamientos mencionados.

La figura 56, también nos indica que los tratamientos (T3 y T9) presentan una similitud en la variabilidad de sus datos, ya que las dos cajas son de tamaño muy similar, es decir para ellas las calificaciones estuvieron en el rango de 5 a 7. Los tratamientos T11 y T12 con los mayores niveles de sustitución 12.5% y 15% de chía desgrasada respectivamente, muestran los valores más bajos de medianas.



**Figura 57:** Tabla de Duncan para el atributo de Textura



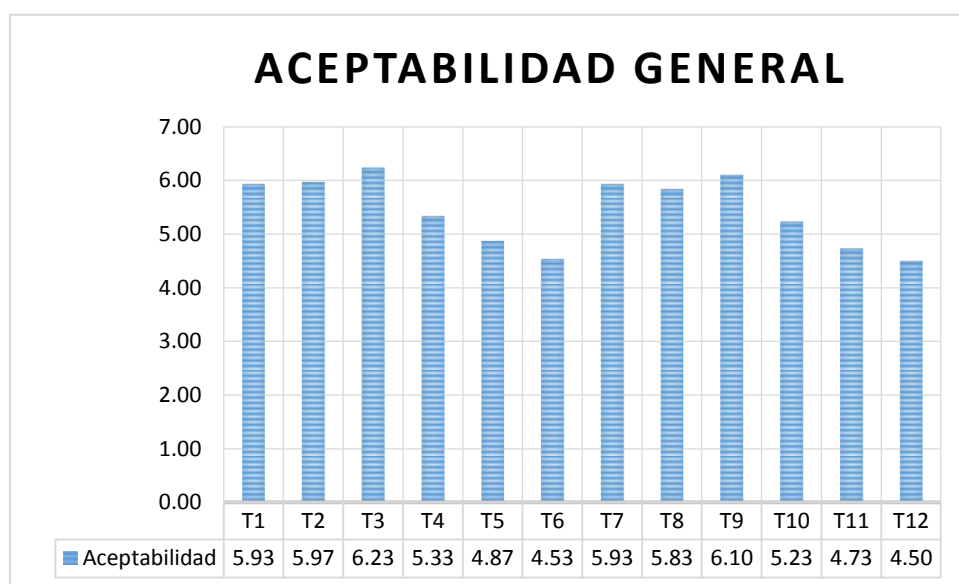
En la figura 57, se puede observar que los tratamientos T9, T3, T8 y T2 son los que alcanzaron valores de media bien cercanos a los tratamientos controles T1 y T7, y que al parecer presentan características en cuanto a la textura similares y agradables para los panelistas, mientras que los tratamientos con menor media fueron los T4, T5, T12 y T6 respectivamente.

#### **4.3.3.5. Aceptabilidad General**

La aceptabilidad sensorial, es un paso lógico y necesario antes de lanzar un producto al mercado, no se invierte en un producto que sensorialmente sea desagradable, la aceptabilidad sensorial no garantiza que el producto tenga aceptabilidad global influyen cuestiones propias de los consumidores así como del producto. (ISETA, 2011)

El pan de mala calidad tiene un color oscuro y desigual, con manchas más o menos blancas; sabor pastoso; aspecto olivado o crudo, poca esponjosidad, falta de ojos, miga apelmazada, que toma la forma que se le da a la menor presión; corteza descolorida o quemada y separada de la miga, sabor ácido. Lampaya (2011).

A continuación se muestra los resultados obtenidos para la aceptabilidad general del pan de molde de los 12 tratamientos, y en los que se observa un mayor puntaje alcanzado en comparación a las otras variables evaluadas en análisis sensorial:



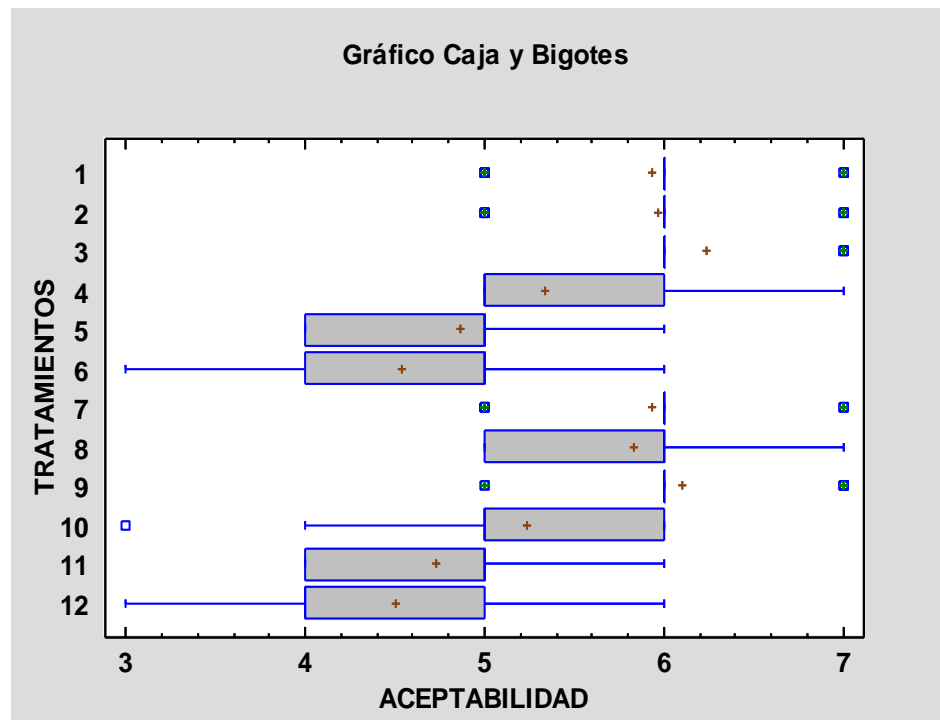
**Figura 58:** Gráfico de barras para la Aceptabilidad General

**Tabla 43**

*Análisis de Varianza para Aceptabilidad General*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b><u>EFFECTOS</u></b>					
<b><u>PRINCIPALES</u></b>					
A:HARINA CHIA	0.711111	1	0.711111	1.80	0.1802
B:SUSTITUCION	136.167	5	27.2333	69.04	0.0000
<b><u>INTERACCIONES</u></b>					
AB	0.255556	5	0.051111	0.13	0.9856
RESIDUOS	137.267	348	0.394444		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>274.4</b>	<b>359</b>			

Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre ACEPTABILIDAD con un 95.0% de nivel de confianza. Por lo tanto, nos quiere decir que hay diferencia significativa entre los tratamientos y niveles de sustitución.



**Figura 59:** Gráfico de cajas para la Aceptabilidad General

Existen diferencias significativas al 5% (Valor de P: 0.000 <0.05) las interacciones del Tipo de Harina de Chía y el Nivel de Sustitución, realizando la prueba de Caja y Bigotes podemos ver que entre todo los tratamientos el que tiene mayor Mediana es el tratamiento T4 y T8.

Las pruebas de aceptación se emplearon para evaluar el grado de satisfacción o aceptabilidad del producto, con el fin de determinar en una serie de productos cual es el más aceptable o preferido.

Al respecto, un estudio realizado por ISETA (2011) también encontraron que los panes de molde eran aceptables sensorialmente hasta con un 10% de incorporación y en nuestro caso se registró una mayor aceptación con un 7.5% de sustitución en el producto final.



se considera como inaceptable el producto ha llegado al fin de su vida útil.

**Tabla 44**

*Valores Promedios de la Aceptabilidad General durante el tiempo de determinación de Vida Útil*

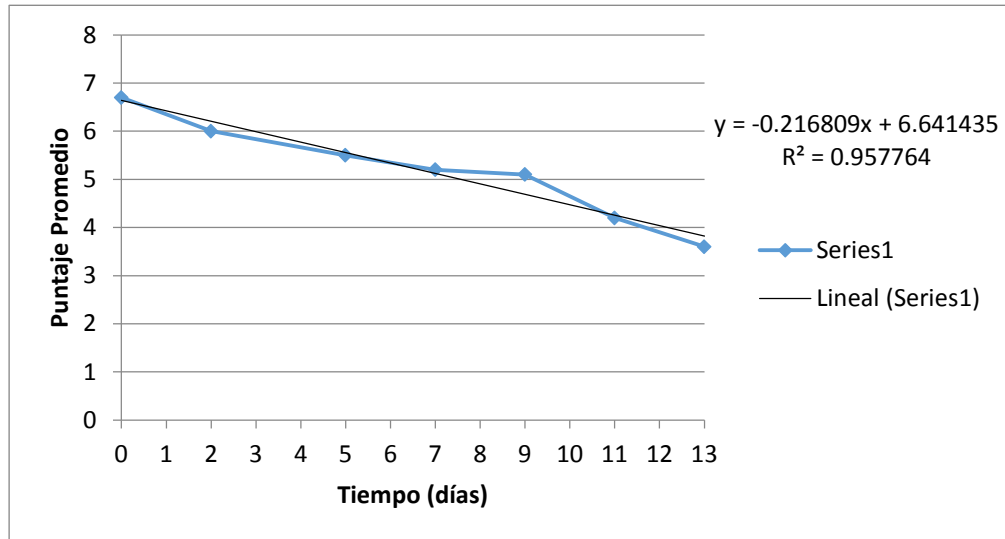
TIEMPO	CONTROL(T1)	DESGRASADA	SIN DESGRASAR
	0%	7.50% (T9)	7.50% (T3)
0	6.4	6.3	5.9
2	6.2	5.9	5.6
5	6	5.3	5.3
7	5.4	5.3	4.8
9	5.4	4.9	4.7
11	4.7	4.9	4.3
13	4.1	4.7	3.8

En la tabla 43, se puede observar en el caso del pan con 0% de sustitución de Harina de Chía y en el T9 (7.5% con H. Chía Desgrasada) en el día 13, todavía mantenían un valor promedio de 4 mientras que el T3 (7.5% H. Chía sin desgrasar) tiene un valor menor debido a que ya comenzó a enmohecerse y no estar apto para ser consumido. En caso del Tratamiento control comenzó a endurecerse conforme pasaban los días, mientras que el T9 llegó con mejor características sensoriales que los demás tratamientos.

Según Gualdron y Gonzales (2013) afirman que la vida útil es muy importante para la comercialización de cualquier producto alimenticio, porque ayuda a evitar cualquier tipo de problema de salud pública, ya sea por la alteración química o microbiológica ya que todos los alimentos se estropean y

lo hacen de modo distinto y con diferente ritmo cuando ya se ha superado su punto óptimo de calidad.

#### 4.3.4.2. Determinación del Tiempo de Vida Útil del T1 (Control) mediante una Regresión Lineal



**Figura 61:** Gráfico de Control para la Vida Útil del T1.

<b>Intercepto</b>	6.64143469
<b>Pendiente</b>	-0.2168094
<b>R<sup>2</sup></b>	0.786544

#### TIEMPO DE VIDA ÚTIL:

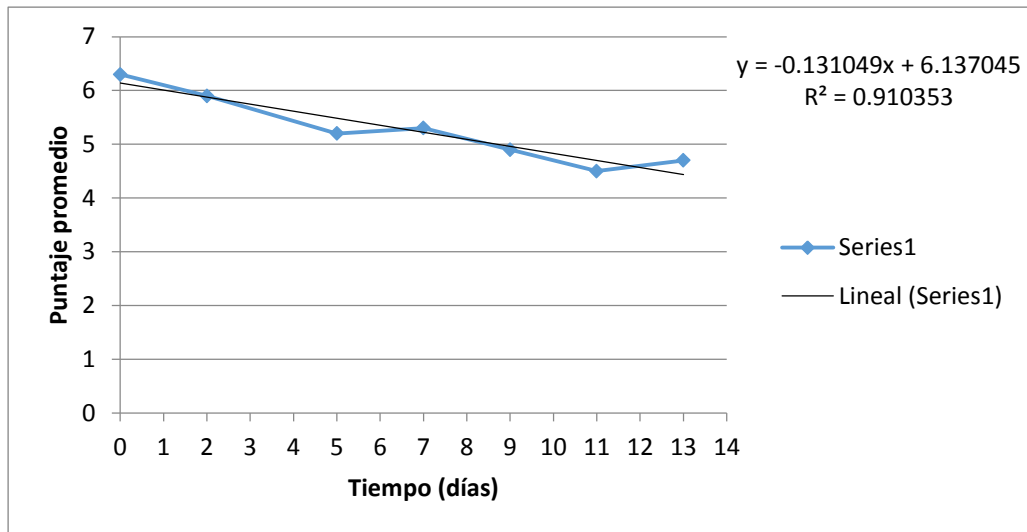
Ahora calculamos la vida útil que sería el tiempo (X) para un Y = 4; por lo tanto despejando X tenemos:

$$x = \frac{6.64143469 - y}{-0.2168094}$$

$$x = 12.18320988$$

$$x = 12 \text{ días}$$

#### 4.3.4.3. Determinación del Tiempo de Vida Útil del T9, mediante una Regresión Lineal



**Figura 62:** Gráfico de Control para la Vida Útil del T9

<b>Intercepto</b>	6.137045
<b>Pendiente</b>	-0.131049
<b>R<sup>2</sup></b>	0.910353

#### TIEMPO DE VIDA ÚTIL:

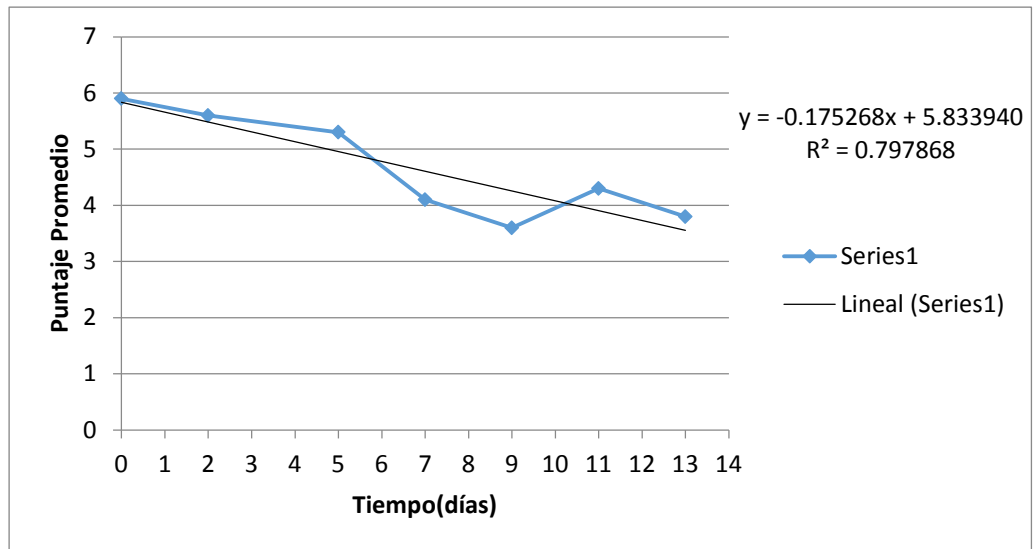
Ahora calculamos la vida útil que sería el tiempo (X) para un Y = 4; por lo tanto despejando X tenemos:

$$x = \frac{6.137045 - y}{-0.131049}$$

$$x = 16.30718954$$

$$x = 16 \text{ días}$$

#### 4.3.4.4. Determinación del Tiempo de Vida Útil del T3, mediante una Regresión Lineal



**Figura 63:** Gráfico de Control para la Vida Útil del T3

<b>Intercepto</b>	5.833940
<b>Pendiente</b>	-0.175268
<b>R<sup>2</sup></b>	0.797868

#### TIEMPO DE VIDA ÚTIL:

Ahora calculamos la vida útil que sería el tiempo (X) para un Y = 4; por lo tanto despejando X tenemos:

$$x = \frac{5.833940 - y}{-0.175268}$$

$$x = 10.46365302$$

$$x = 10 \text{ días}$$



Cualquier cambio organoléptico, como el color y olor, que hacen a la muestra inaceptable para el panel sensorial y el consumidor son considerados como criterios de producto deteriorado. Es uno o la combinación de estos criterios los que constituyen una muestra deteriorada.

El alimento es intrínsecamente perecedero y, en función de sus características físicas y químicas, de sus propiedades y las condiciones de almacenamiento, llegará un momento en que cualquiera de sus cualidades de calidad no serán aceptables o se convertirá en perjudicial para el consumidor.

Es el porcentaje de materia prima que se utiliza en la transformación de un alimento, esta formulación depende del tipo de producto que se elabora. En productos de naturaleza o de contenido de grasa superior al 10 %, pueden desarrollar rancidez. (Krummenacher et al., 2012)

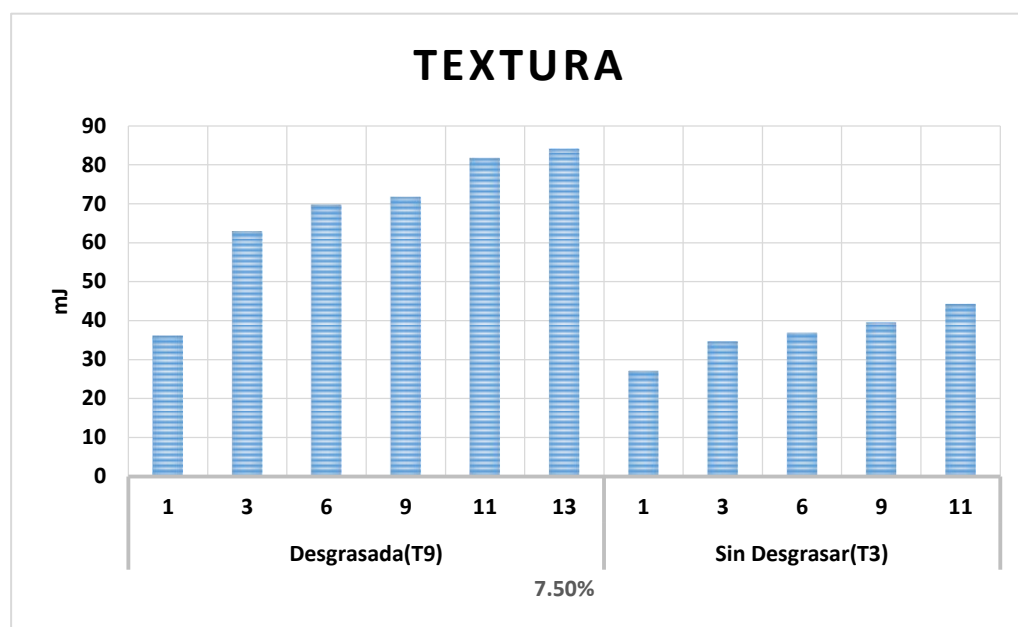
Al respecto, Krummenacher et al. (2012) afirmaron que los productos alimenticios no tienen una vida en anaquel sensorial por ellos mismos; esta depende de la interacción del alimento con el consumidor. Gualdron y Gonzales (2013) reportaron en su trabajo de investigación que el porcentaje de rechazo del pan de molde por los consumidores fue de 50.3% a los 13 días de vida en anaquel para los consumidores españoles y, de 42% para los consumidores uruguayos. En nuestra evaluación sensorial el tiempo máximo de vida útil dada por los panelistas fue de 13 días, y con la determinación de vida útil usando la regresión lineal tenemos de 12 días para el tratamiento control, de 10 días para el T3 y de 16 días para el T9 resultados similares según la bibliografía citada.

**4.3.4.5. Textura del pan de molde durante el tiempo de almacenamiento**

**Tabla 45**

*Textura del pan de molde de mayor aceptabilidad (T3 y T8) durante 13 días de almacenamiento a T° ambiente.*

Días	92.5%HT-7.5%H.C Desgrasada(T9) mJ	92.5%HT-7.5%H.C Sin Desgrasar(T3) mJ
1	36.1	27.08
3	62.89	34.56
6	69.77	36.83
9	68.67	39.54
11	81.59	44.16
13	84	



**Figura 64:** Gráfico de barras para la Textura del pan de molde de mayor aceptabilidad (T3 y T9) durante 13 días de almacenamiento a temperatura ambiente

En la tabla 44, podemos observar que durante los días de almacenamiento el T9 aumenta significativamente su firmeza llegando a valores de 84 mJ en comparación del T3 que aumenta ligeramente llegando a 44.16 mJ.

La textura es un factor de frescura y calidad para el consumidor, en el pan, por lo que es un factor esencial para la aceptación del producto en el mercado. La corta vida útil del pan y la pérdida de frescura de la miga está asociado con dos parámetros de textura: el incremento de firmeza y pérdida de elasticidad.

La dureza del pan de molde es la característica más evidente de textura observada por los consumidores, que influye grandemente en el juicio de la aceptabilidad del producto. Este es uno de los parámetros más importantes y se relaciona con la fuerza aplicada para causar deformación o rotura de la muestra evaluada en texturómetro mecánico y está correlacionado con la mordedura humana durante la ingesta de alimentos.

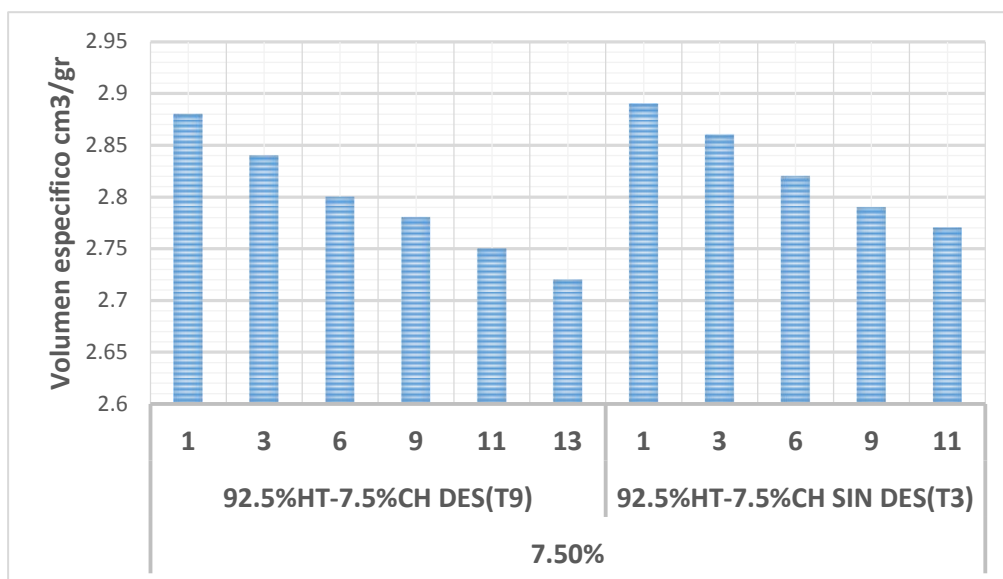
Los tratamientos a0b3, a1b2, a0b2, a1b3, a0b0 presentaron menor dureza a lo largo de los 4 días que fueron evaluados, dentro de estos tratamientos se encuentra en mayoría el factor de 20 % de mucílago de chíá. La figura 4 indica que a partir del día 3 se comienza a evidenciar una diferencia, en este caso un aumento significativo en la dureza de los panes. La dureza del pan es un término general que describe la pérdida de calidad dependiendo del tiempo. (Gualdron y Gonzales, 2013)

**4.3.4.6. Volumen específico del pan de molde durante el tiempo de almacenamiento**

**Tabla 46**

*Volumen específico del pan de molde de mayor aceptabilidad (T3 y T8) durante 13 días de almacenamiento a T° ambiente.*

Volumen específico		
Días	92.5%HT-7.5%H.C Desgrasada(T9)	92.5%HT-7.5%H.C Sin Desgrasar(T3)
1	2.88±0.13	2.89±0.13
3	2.84±0.15	2.86±0.17
6	2.8±0.19	2.82±0.14
9	2.78±0.2	2.79±0.13
11	2.75±0.10	2.77±0.15
13	2.72±0.10	



**Figura 65:** Gráfico de barras para el Volumen específico (T3 y T9) de pan de molde de mayor aceptabilidad durante 13 días de almacenamiento a T° ambiente.

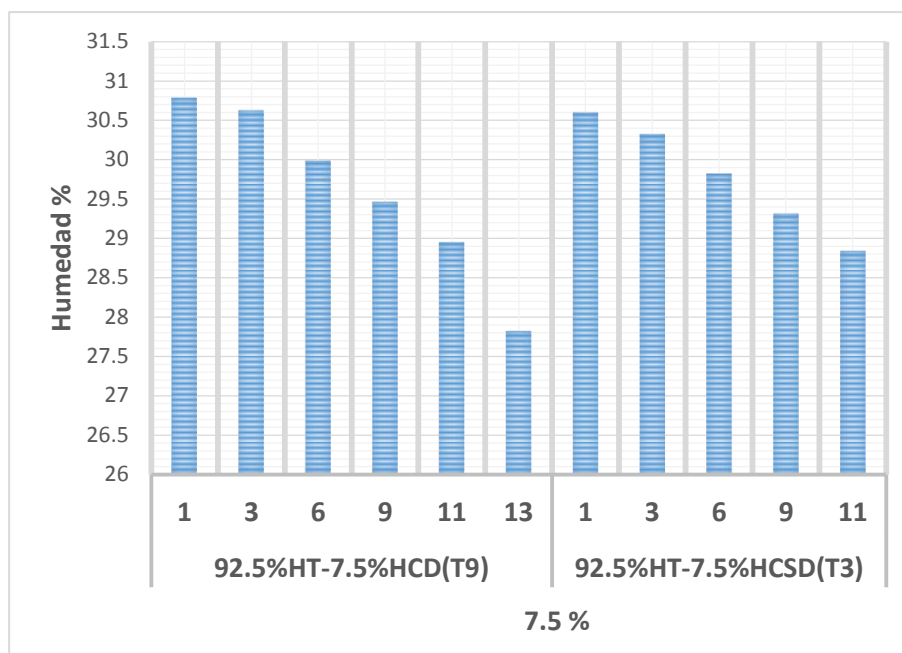
La adición de algunos FD soluble en un bajo nivel fortaleció la estructura de la masa y la mejora de la calidad del pan (Sivam, et al., 2011), pero los excesos de cantidades de insolubles FD tuvieron un efecto adverso sobre la formación de la red de gluten (Ahmed, et al., 2013) y reducción de la calidad del pan debido al efecto de dilución o gluten.

#### 4.3.4.7. Humedad del pan de molde durante el tiempo de almacenamiento

**Tabla 47**

*Humedad (%) del pan de molde de mayor aceptabilidad (T3 Y T8) durante 13 días de almacenamiento a T° ambiente.*

Días	92.5%HT-7.5% CH Des (T9)	92.5%HT-7.5%CH Sin Des (T3)
1	30.78 ± 0.15	30.39 ± 0.16
3	30.72 ± 0.18	30.16 ± 0.15
6	29.57 ± 0.2	29.31 ± 0.1
9	29.26 ± 0.17	28.9 ± 0.12
11	28.56 ± 0.19	28.45 ± 0.1
13	28.03 ± 0.1	-----



**Figura 66:** Variación del Porcentaje de humedad (T3 y T9) del pan de molde de mayor aceptabilidad durante 14 días de almacenamiento a T° ambiente.

En el tabla 46, observamos que al inicio del almacenamiento del pan de molde de chía desgrasada (T9 al 7.5%) presenta una humedad de  $30.78\% \pm 0.15$  y el pan de molde de chía sin desgrasar (T3 al 7.5%) presenta una humedad de  $30.39 \pm 0.16$  paulatinamente estos valores van disminuyendo a medida que pasan los días de almacenamiento hasta el día 13, en el cual los valores de humedad del pan de molde de chía (T9 Y T3) de mayor aceptabilidad fueron  $28.03 \pm 0.1$  (T9) y  $28.45 \pm 0.1$  (T3) respectivamente. Presentando una mayor caída de humedad (%) el tratamiento T3.

La determinación de humedad es una de las medidas más importantes por ser uno de los principales factores de aceleración de las reacciones químicas y enzimáticas. Por tal medida se observa en la tabla 46, que el pan de molde con chía 7.5% desgrasada (T9) obtuvo una vida útil de 13 días determinado por 10 panelistas semi entrenados,

conservando aun su frescura interior debido a un valor de humedad de 28.03%.

En el caso del pan de molde de chía al 7.5 % sin desgrasar (T3) solo llego a obtener un periodo de vida útil de 11 días determinado por 10 panelistas semi entrenados, se conservaba su frescura de miga y corteza al tener un valor de humedad 28.45%. Pero fue descartado a seguir siendo evaluado debido a que presento características químicas que no fueron del agrado de los panelistas semi entrenados al degustar sensorialmente.

La humedad presente en el T3, llevo acelerar las reacciones químicas de oxidación del aceite de chía presente en el pan de molde dándole un sabor no agradable al gusto de los panelistas.

El contenido de humedad en la composición de los panes incrementó con la sustitución de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi. Los valores varían entre 24.41% (F7) a 29.30% (F4). El incremento en el contenido de humedad ha sido asociado con el incremento en el contenido de fibra. . (Elleuch et al., 2011; Maneju et al., 2011). Esto mismo sucede en el caso de nuestros panes elaborados con chía debido al elevado valor de fibra que presentan.

Los productos con semillas o con harina integral de chía mostraron valores menores de humedad, aunque la tendencia es no significativa, mostrando un efecto contrario en las muestras con harinas semi y parcialmente desgrasada. Esta tendencia podría ser debida a la incorporación de fibras insolubles de chía, concretamente, al alto contenido en mucílagos. A medida que se incrementa la

sustitución con HQ y HC disminuye la humedad en lo panes molde, esto debido a los componentes que tiene la quinua y chía y a la capacidad de retención de agua que tiene los cereales que son superiores a la del trigo (Ahmed, et al., 2013), comparados con el tratamiento control presenta menor contenido, debido a que la chía presenta una característica peculiar de formar coloides y este hace que no pueda permitir la eliminación de agua al secar en una estufa valores reportados Capitani (2013).

De igual forma Aguilar (2012), menciona que disminuye el contenido de humedad en alimentos enriquecidos con chía, debido a que este presenta contenido de fibra (fibra dietética soluble), la chía tiene una capacidad de retención de 6.2 g de agua /g de fibra, además el contenido de humedad incrementa por causa del tamaño de partícula, ya que teóricamente a menor tamaño de partícula la facilidad de hidratación se aumenta, por la superficie de contacto que se tiene, debido a que en el pan molde se utilizó harina de chía y no el grano entero.

Para Silveira y Salas (2013), el incremento de sustitución de chía logra en disminución de la humedad del pan, debido a las características higroscópicas que la chía presenta. Esto se debe que mediante la formación de coloides de la chía imposibilita la evaporación de agua en el estufa, además la chía presenta propiedades hidrofílicas teniendo la capacidad de absorber 12 veces su peso en agua, los coloides hidrofílicos son sustancias aguadas gelatinosas capaces de retener agua.

Ahmed, et al. (2013) realizó investigación a panes con adición de fibra soluble, donde observo que a medida que se



incrementaba la fibra soluble también ocurre lo mismo con la humedad de los panes ya que este tiene la capacidad de retener agua.

La chía comparada con otras fuentes de fibra como la linaza o salvado presenta mayor CRA (capacidad de retención de agua), lo que ocasiona que por su acción osmótica capte agua y forme coloides tipo gel imposibilitando su evaporación. (Capitani, 2013)

En la figura 63, se observa que la chía es el que le confiere mayor contenido de humedad además si seguimos incorporando chía podemos sobrepasar el límite máximo de humedad 40 %. Según Elleuch et al. (2011) la pérdida de humedad no debe exceder de 9 %, porque significaría que la masa se cocinó demasiado.

La pérdida de peso de los panes de molde es debido a la evaporación de agua durante la cocción y enfriamiento del pan. La menor evaporación de agua se da en una masa más resistente que en una masa blanda (Ahmed, et al., 2013).

El incremento en el contenido de humedad ha sido asociado con el incremento en el contenido de fibra (Elleuch et al., 2011; Maneju et al., 2011).

#### 4.3.5. EVALUACIÓN BIOLÓGICA

**Tabla 48**

*Resultados de la evaluación biológica del pan de molde enriquecido con chía (T3 y T9).*

PRODUCTO	PER	DIGESTIBILIDAD	VALOR BIOLÓGICO
<b>7.5% H. Chía D(T9)</b>	1.221	72.39%	59.76%
<b>7.5% H. Chía SD(T3)</b>	1.011	72.29%	56.96%
<b>CASEÍNA</b>	2.01**	92% *	79.31%

\*Valor recomendado para panes integrales por la FAO (1985)

\*\*Valor reportado por Delgado Amarin para panes con un 20% de sustitución con harinas diferentes al trigo (1981).

En la tabla 48, se pueden observar los resultados de las pruebas biológicas realizadas al pan de molde enriquecido con harina de chía sin desgrasar (T3) y chía desgrasada (T9) en comparación con un patrón que es la caseína.

Con respecto a la Eficiencia Proteica (PER), el pan de molde integral enriquecido de tratamiento 9 (7.5% de harina de chía desgrasada y 92.5% Harina de trigo) presenta un valor de 1.221 y para el tratamiento 3( 7.5% H. chía sin desgrasar y 92.5% Harina de trigo) presenta un valor de 1.011, inferiores al tratamiento control de caseína (2.01), notando una similitud reportado por Urbina (2015) quien señala un PER 1.104 y caseína 2.01 en un pan elaborado con 2% de quinua y 5 % de semilla de chía. Tomando esto en cuenta si comparamos podemos notar un valor superior, a lo que reporta lo que nos a entender que la proteína de los panes de molde de tratamientos T9 y T3 tienen mejor calidad biológica

**Tabla 49***Resumen de la determinación de la digestibilidad, valor biológico*

PARAMETROS	7.5% H.CHÍA		7.5% H.CHÍA	
	D(T9)		SD(T3)	
	gr	%	gr	%
PESO INICIAL	48.02		46.34	
PESO FINAL	54.79		52.26	
GANANCIA DE PESO	6.77		5.92	
CONSUMO DE ALIMENTO	38.72		31.14	
NITROGENO EN EL ALIMENTO		2.47		2.23
CONSUMO DE NITROGENO	0.956		0.691	
TOTAL DE ORINA	24.8		22	
TOTAL DE HECES EXCRETADAS	6.51		5.2	
NITROGENO EN LA ORINA		1.149		0.996
NITROGENO EN HECES		4.069		3.668
TOTAL DE NITROGENO EXCRETADO EN HECES	0.264		0.190	
TOTAL DE NITROGENO EXCRETADO EN ORINA	0.278		0.215	
DIGESTIBILIDAD	0.723	72.39	0.722	72.29
VALOR BIOLOGICO	0.597	59.76	0.569	55.96

La digestibilidad del pan de molde integral para 7.5% de harina de chía desgrasada (T8) es de 72.39%. Al comparar este valor con lo reportado por la FAO para la caseína que es de 92% se puede decir que la digestibilidad del nuestro pan integral es buena y representa el 80.26% respecto a la caseína.

Para el pan de molde integral 7.5% de harina de chía sin desgrasar (T3) la digestibilidad es de 99.7%. Al compararlo con lo reportado por la FAO para la caseína que es de 92% representa 79.96%% respecto a la caseína, lo cual nos indica que es bueno.

El valor biológico del pan de molde integral para el 7.5% de harina de chía desgrasada (T8) es de 59.76%, esto representa la porción de nitrógeno absorbido que es retenida por nuestro organismo para su utilización ya sea para el crecimiento como para el mantenimiento corporal. Pero, al comparar este valor con lo reportado por la FAO para la caseína que es de 79.31%, representa el 88.76%.

Para el pan integral 7.5% de harina de chía sin desgrasar (T3) es de 55.96% Al comparar este valor con lo reportado por la FAO para la caseína que es de 79.31%, nos representa el 80.26%.

Los resultados del estudio de digestibilidad muestran que la harina de chía presenta una digestibilidad 73.8%, lo que demuestra un alto nivel de digestibilidad, no se tiene reportes de factores anti-nutricionales en la chía, con lo cual se descarta la presencia de inhibidores que pudieran retardar la digestibilidad, aunque hay reportes que la presencia de compuestos fenólicos antioxidantes, los cuales pueden disminuir el aprovechamiento de las proteínas. (Ixtania et al., 2011)

Este valor de digestibilidad es un indicador de la calidad nutricional de las proteínas de semilla de chía y puede estar asociado a la estructura de estas. Al tener diferencias en su estructura terciaria y cuaternaria presentan diferentes susceptibilidad a las enzimas proteolíticas (Ixtania et al., 2011).

La harina de chía desgrasada nos muestra un mayor valor de digestibilidad que la propia semilla de chía, lo cual era de esperarse debido a que el mucilago es parte de la fibra presente en la semilla y al retirarla la digestión se facilita.

## V. CONCLUSIONES

- ❖ La composición porcentual en las materias primas, da como resultado, para la harina de trigo un 14.35% de humedad, 0.61% cenizas, 10.61% proteína, 0.98% grasa y 1.41% fibra; para la harina integral 14.18% de humedad, 1.84% cenizas, 12.46% proteína, 1.64% grasa y 8.12% fibra; para la harina de chía sin desgrasar 7.25% de humedad, cenizas 4.28%, proteína 18.73%, grasa 32.51% y fibra 24.08% y para la harina de chía desgrasada 5.6% de humedad, cenizas 4.93%, proteína 24.27%, grasa 8.01% y fibra 32.32%.
  
- ❖ El comportamiento reológico en la incorporación de harina de chía desgrasada para los tratamientos T8 (5%H. chía desgrasada y 95% H. trigo) y T9 (7.5% H. chía desgrasada y 92.5% H. trigo) para la elaboración de pan de molde demuestra y confirma que las mezclas utilizadas son aptas para la elaboración de panes de molde.
  - Análisis amilográfico: Determina la temperatura de gelatinización (°C) para T8= 90.5 y T9= 89.0; y máxima gelatinización (UA) para T8= 996 y T9= 950.
  
  - Análisis Farinográfico: Determina el porcentaje de absorción de agua para T8=62.1 y T9=62.9; y tiempo óptimo de desarrollo (min) para T8= 3.5 y T9=3.6.
  
  - Análisis extensográfico: Determina la extensibilidad (mm) para T8= 93 y T9=84; la resistencia a la extensión (BU) para T8=1274 y T9=1117; y máximo (BU) para T8= 1432 y T9=1121.
  
- ❖ El análisis instrumental de color para la miga mostró que los panes elaborados con harina de chía desgrasada tienden ser más oscuros en relación con los panes de molde de harina de chía sin desgrasar pero es lo contrario el análisis de color para la corteza.

- ❖ Para ésta investigación se determinó la mejor sustitución mediante el análisis sensorial, análisis nutricionales y mayor tiempo de vida útil (16 días) al tratamiento T9, el pan de molde enriquecido con (7.5% de harina de chía desgrasada y 92.5% harina de trigo).
- ❖ La composición química porcentual del pan de molde de los mejores tratamientos T3 (7.5% H. Chía sin desgrasar y 100% H. Trigo) y T9 (7.5% H. Chía desgrasada y 100% H. Trigo) fue de 30.39% y 30.78% de humedad, 12.82% y 15.44% de proteína, 3.61% y 4.15% de ceniza, 11.08% y 8.64% de grasa, 3.81% y 6.32% de fibra, 39.39% y 36.67% de carbohidratos.
- ❖ El análisis de perfil de ácidos grasos presentó un contenido de 4.021% en ácido alfa linolénico ( $\omega$ -3) y 12.47% en ácido alfa linoleico ( $\omega$ -6), para nuestro tratamiento T9 (7.5% H. chía desgrasada y 92.5% H. trigo) con la mejor sustitución, el cual está dentro del rango de establecido por la FAO (2012) considerándolo como un alimento importante con propiedades funcionales que ayudará a mantener niveles saludables de triglicéridos, entre otros beneficios para la salud.
- ❖ Las pruebas biológicas hechas al pan de molde integral para los mejores tratamientos T9 (7.5% H. chía desgrasada y 92.5% H. trigo) un PER = 1.221, Digestibilidad Aparente = 72.39%, Valor biológico = 59.76 y para T3 (7.5% H. chía sin desgrasar y 92.5% H. trigo) un PER = 1.011, Digestibilidad = 72.29%, Valor biológico = 59.96, valores aproximados con respecto a la caseína.

## VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda realizar un análisis de HPLC para poder determinar el contenido de omega tres y ácidos grasos presentes en los panes molde enriquecido con harina chía, para mayores conocimientos en cuanto a las propiedades nutricionales.
- ❖ Se sugiere practicar ensayos de alveograma a este producto para determinar las propiedades de elasticidad, viscosidad y plasticidad.
- ❖ Determinar el contenido de carbohidratos por otro método, no por diferencia si no un método cuantificable.
- ❖ Se recomienda realizar un análisis biológico completo teniendo en cuenta la digestibilidad verdadera, NPU y NPR.
- ❖ Se sugiere realizar otras sustituciones para reforzar el valor nutricional que presenta la harina de chía desgrasada en cuanto al aminoácido limitante (lisina).



## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G. (2012). Propiedades funcionales de harina de semilla de chia *Salvia hispanica L.* y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y microscópicas en un batido cárnico (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico.
- Aguilar, P. V. (Julio de 2010). Obtención de almidón fermentado a partir de yuca (*Manihot esculenta crantz*) variedad valencia, factibilidad de usos en productos de panadería. Obtenido de Tecnología en Marcha: [http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/69/68](http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/69/68).
- Ahmed M, I.P., Ting R.W, Scora. (2011). Leaf oil composition of *Salvia hispánica L.* from three geographical areas. *Journal of Esentials Oil Research* 6:223-228.
- Amorós, N. (2011). Industrias Artológicas Triticultura, Molinería, Panadería. AXTOR. Barcelona.
- Alvarado, R. D. (2011). Caracterización de la semilla del chan (*salvia hispánica l*) y de diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. Art. De revista 23 de la Universidad del valle de Guatemala.
- Álvarez, T. (2012). “Elaboración de un pan de molde enriquecido con Quinoa (*Chenopodium quínoa W.*), Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), Maca (*Lepidium meyenii Walp*) y Linaza (*Linum usitatissimum L.*). (Tesis pregrado), Universidad Nacional Del Altiplano, Lima.
- Alvis, A., Pérez, L., & Arrozala, G. S. (2010). Estudio de propiedades físicas y viscoelásticas de panes elaborados con mezclas de harina de trigo y arroz integral. (Tesis de pregrado) Universidad de Córdoba, Colombia.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1997. Methods of nalysis of the AOAC Intemational. 3 ed. Volumen 11. Maryland USA
- Aquino Vivianco, O. (2013). Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Clasificación comercial de la harina de trigo.
- Arroyo, D. (2011) “Estudio investigativo de la chía y su aplicación a la gastronomía”. (Tesis pre grado) UNIIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL. Quito, Ecuador.

- Ayerza, R. (2011). Effects of seed color and growing locations on fatty acid content and composition of two chia (*Salvia Hispanica L.*) genotypes. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87:1161-1165.
- Ayerza, R. (2013). Seed composition of two chia (*Salvia hispanica L.*) genotypes wich differ in seed color. *Emirates Journal of Food and Agricultural* 25 (7): 495-500.
- Ayerza, R. & Coates, W. (2011) Protein Content, Oil Content and Fatty Acid Profiles as Potential Criteria to Determine the Origin of Commercially Grown Chia (*Salvia hispanica L.*). *Industrial Crops Products* (34) 1366-1371.
- Avellaneda S. (2015). Evaluación de la calidad del pan de molde enriquecido con torta desgrasada extruída de sachá inchi (*Piukenetia volu bilis L.*)
- Baños, B. (2013). Caracterización reológicas de masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble (Tesis pregrado) Instituto de Ciencias Agropecuarias, 46-49.
- Bejarano E., Bravo M., Huamán M., Huapaya C., Roca A., Rojas E. (2002) Tabla de composición de alimentos industrializados. MINISTERIO DE SALUD INSTITUTO NACIONAL DE SALUD CENTRO NACIONAL DE ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN. Lima
- Beltrán, S. y Puerto, P (2011).” Transformación de la seta comestible Shiitake (*Lentinula edodes*) en harina como sustituto para elaborar galleta dulce de regado”. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Alimentos. Universidad de la Salle. Bogota, Colombia. pp 52.
- Boccio J, Bressan J. (2014). Fortificación de alimentos con hierro y zinc: pros y contras desde el punto de vista alimenticio y nutricional, *Rev Nutr.* (17) 71-8.
- Bravo, E. y Ortega, J. (2017): “Efecto de la granulometría y formulación en la calidad de un snack extruido a base de arroz (*Oryza sativa L.*), quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) y torta desgrasada de chíá (*Salvia Hispánica L.*)” (Tesis pregrado) UNS, Perú.

- Brumovsky, L. y Horianski, M (2014). Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional de Misiones, Argentina.
- Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo, CANIMOLT. (2015). Granulometría, colorimetría y cenizas en harina. Seminario de Laboratorio para Molinos de Trigo. Recuperado de <http://www.canimolt.org/seminario-de-laboratorio>
- Capitani, M., Spotorno, V., Nolasco, S., Tomas, M. (2012). Physicochemical and functional characterization of by products from Chia (*Salvia hispánica L.*) Seeds of Argentina. *LWT – Food Science and Technology*, 45: 94-102p.
- Capitani, M. (2013). Caracterización y funcionalidad de subproductos de chíá (*Salvia hispánica L.*) aplicación en alimentos. (Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas), Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Carrero, M. P. & Armendariz, J. L., (2013). Elaboración de pastelería y repostería en cocina. Paraninfo S.A. Madrid, España.
- Castilla, M. (2014). Pan Casero. CreateSpace Independent Pub.
- Cauvain-Young. (2012). “Fabricación de pan enriquecidas con harina de chíá y quinua”. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- CENAN INSTITUTO NACIONAL NUTRICION (2016): Composición nutricional del. Recuperado de: [trigohttp://www.portal.ins.gob.pe/en/cenan](http://www.portal.ins.gob.pe/en/cenan)
- Cerón A, Hurtado A, Osorio O, Buchely M. (2011), Estudio de la formulación de la harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*), como sustituto parcial de la harina de trigo en panadería. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*; pág. 115-21.
- Cervilla, N., Mufari, J., & Calandri, E. (2012). Determinación del contenido de aminoácidos en harinas de quinua de origen Argentino. Evaluando su calidad proteica. *Actualización en nutrición (ICTA, CONICET)*, 107-111.

- Chagman, P (2010). Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) usando el metodo directo y esponja y masa, en la elaboración de pan.
- CODEX ALIMENTARIUS 178-1991. Norma para la sémola y la harina de trigo duro.
- CODEX ALIMENTARIUS 152-1985 (Revisada el 2016). Norma del codex para la harina de trigo.
- Contreras D. (2015). Desarrollo de una galleta dulce enriquecida con harina de quinua blanca (*Chenopodium quinoa*) utilizando diseño de mezclas (Tesis Pregrado).
- Da Silva J., Ribeiro M., De paula D., Ramos D., Paes J. (2011). Caracterizacáo Físico-Química e Sensorial de pão de sal enriquecido com farinha integral de linhaca.
- Enriquez, R., y Vilcapoma, D. (2012). Evaluación de vida útil en anaquel de tres variedades de maíz tostado y envasado en tres tipos de envases. (Tesis pregrado), Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo.
- Escobar, C. (2012). Propiedades funcionales de harina de semilla de chia *Salvia hispanica* L. y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y microscópicas en un batido cárnico. (Tesis de maestria) Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico.
- Esteller, M. S., Amaral, R. L., & Lannes, S. S. (2012). Efecto del azúcar y grasa sustitutos de la textura de los productos horneados. *Revista de estudios de la textura*, 79-98.
- FAO/WHO/UNU. 2007. Expert Consultation on Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition.
- Ferreras Charro, R. 2012. Análisis reológico de las diferente fracciones de harina obtenidas en la molienda del grano de trigo. Universidad de Salamanca.
- García, R. D., & Pérez, A. P. (2013). Evaluación del comportamiento reológico de dos muestra de harina de trigo (*Triticum aestivum* L) adicionada con mezcla de fibras comerciales. (Tesis pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

- Gómez, V.; Nader-Macías, F. (2012). Productos elaborados con semillas de chía y sésamo: composición química, aceptabilidad, satisfacción y conocimiento sobre sus propiedades nutricionales. *Actualización en Nutrición* 13: 250-267p.
- Gómez M., Jiménez S., Ruiz E., Oliete B. (2011). Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *Food Science and Technology*. 44, 2231-2237.
- Grupo Vilbo. (2011). Mejorantes Panarios. Recuperado de <http://www.panaderia.com/articulos/view/mejorantes-panarios>
- Gualdrón, J., & Gonzales, R. (Enero - Junio de 2013). Evaluación de un yogur con características simbióticas y su efecto sobre la vida útil del producto. *Revista Colombiana de Microbiología Tropical*, 3(1).
- Guiotto E., Ixtaina V., Tomás M., Nolasco S. (2011). Moisture-dependent physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Trans ASABE* 54 (2), 1-7
- Guiotto, E. (2014). Aplicación de Subproductos de Chia (*Salvia hispánica* L.) y Girasol (*Helianthus annuus* L.) en alimentos. Tesis de Ing. Químico e Agroindustrial. Navarra, España. Universidad de Navarra. 16p.
- Hernández, G. & Majem, S. (2010). Libro blanco del pan. Médica panamericana. Madrid, España.
- Hernández J. (2012). Formulación y evaluación de panes para celíacos. (Tesis pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 16-18.
- Hurtado, J. A. (2016) Utilización de prefermentos en la elaboración de pan de molde blanco para extender su tiempo de vida útil. (Tesis pregrado) Universidad san Ignacio de Loyola. Lima, Perú.
- Iglesias, E., Haros, M. (2011). Mejora del valor nutricional y tecnológico de Productos de panadería por incorporación de Ingredientes a base de chía (*Salvia hispánica* L.). (Tesis Pre grado). Universidad Politécnica de València, 80:102-105.
- Indrani D., Swetha P., Soumya C., Jyotsna Rajiv, Venkateswara Rao G. (2010). Effect of multigrains on rheological, microstructural and quality characters of north Indian parotta and an Indian flat bread. *Food Science and Technology*. 44, 719- 724.

- ISETA. (2011). Análisis sensorial: Una herramienta de marketing y de innovación. Buenos Aires, Argentina.
- ITINTEC (2015). Disposición, Acceso y consumo de Harina de trigo y sus derivados en el Perú.
- INTA (2012): INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA: Chía (salvia hispánica L) aspectos nutricionales. Aportes a una dieta saldable. Salta.
- Ixtaina, V., Nolasco, S., Tomás, M. (2012). Oxidative stability of chia (*Salvia hispanica L.*) seed oil: effect of antioxidants and storage conditions. *JAOCS* (89) 1077 – 1090.
- Jamboonsri, W., Phillips, T., Geneve, R. y Cahill, J. (2012). Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica L.* a new omega 3 source. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59:171-178.
- Jardine, (1982), citado por Avellaneda, et, al, (2015). "evaluación de la calidad del pan de molde enriquecido con torta desgrasada extruída de sachá inchi (*Piukenetia vol u bilis L.*)"
- Jiménez, P. Masson, L.S., Quitral V. R. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista Chilena de Nutrición*. (40) N°2, Santiago Chile.
- Karen, L., Moran, K. M., & Navarrete, S. (2015). Efecto de la goma Xanthan y la hidroxipropilmetilcelulosa en las características físicas y reológicas del pan de arroz libre de gluten tipo molde.
- Krummenacher, Pereira, Rivera, & Sanchez. (2012). Guía para determinar la vida útil en anaquel.
- Labuza, T. (1999). Vida útil de alimentos. Recuperado el 14 de abril de 2013 de [online:http://fscn.che.umn.edu/Ted-Labuza/tpl.html](http://fscn.che.umn.edu/Ted-Labuza/tpl.html) .Revisado el 15.09.2016.
- Lezcano E. (2011). Productos panificados. Alimentos Argentinos – MinAgri. Disponibilidad libre en [www.alimentosargentinos.gob.ar](http://www.alimentosargentinos.gob.ar).
- López, J. (2013). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y reológicas del pandebono formulado con emulsificantes y componentes

- fisiológicamente activos. (Tesis pre grado). Universidad Nacional de Colombia.
- Magaña Barajas, Ramírez Wong, Platt Lucero, López-Ahumada y Sánchez Machado. (2012). Caracterización viscoelástica de masas de variedades de trigos suaves .Departamento de Investigación y Pos grado en Alimentos, Universidad de Sonora, México.
- Magaña Barajas E., Ramírez Wong B., Platt Lucero L.C., Lopez Ahumada G.A., Torres P.I., Sanchez IMachado D. (2011). Viscoelastic characteristics of dough from soft wheat cultivars. *Tecnología, Ciencia y Educación*. 24, 12-22.
- Maneju, H., Udobi E. & Ndife J. (2011). Effect of added brewers dry grain on the physico-chemical, microbial and sensory quality of wheat bread. *Am. J. Food Nutrition* (1), 39-43.
- Marrou, M. E., y Villacorta, M. (Diciembre de 2010). Valor nutritivo de pan con sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por arracha (*Arracacia xanthorrhiza Bancroft*), fortificado. Obtenido de Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. [https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Leon\\_Marrou/publication/49611085\\_Valor\\_nutritivo\\_de\\_pan\\_con\\_sustitucion\\_parcial\\_de\\_harina\\_de\\_trigo\\_Triticum\\_aestivum\\_por\\_arracacha\\_Arracacia\\_xanthorrhiza\\_Bancroft\\_fortificado/links/02bfe50e7320b5240c000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Leon_Marrou/publication/49611085_Valor_nutritivo_de_pan_con_sustitucion_parcial_de_harina_de_trigo_Triticum_aestivum_por_arracacha_Arracacia_xanthorrhiza_Bancroft_fortificado/links/02bfe50e7320b5240c000000.pdf)
- Merino Sauces, C. (2013). Mejora de la calidad de pan sin gluten a través de la mezcla de almidones y harinas. *Tecnología de alimentos*, 1-38.
- Martinez, L., Mrin, M., Salgado, C., Revol, J., Penci, M. y Ribotta, P. (2012). Chia (*Salvia hispánica L.*) oil extraction: Study of processing parameters. *Food Science and Technology* 47:78-82.
- MINSA (2015). Tablas peruanas de composición de alimentos. Centro nacional de alimentación y nutrición. Perú.
- MINSA (2010). RM N° 1020-2010/MINSA “Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería”.
- Muller, K. (2015) “Capacidad antioxidante y contenido de flavonoides entre las semillas de chia negra (*salvia nativa*) Y chia blanca (*salvia hispánica L.*) (Tesis pregrado), Universidad Nacional dePuno, Perú.

- Mohammed 1., Abdelrahman R., Ahmed B., Senge B. (2011). Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*. 36, 196-202.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. 2013. Effect of Chia (*Sativa hispanica L.*) and hydrocolloids on the rheology of gluten-free doughs based on chestnut flour. *LWT – Food Science and Technology*, 50: 160-166.
- Muñoz, A. (1990). Alimentación y nutrición. Ed. Ediagraria-UNALM. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Perú, 60-62.
- Muro Ventura (2013). Principales Aspectos de la Cadena Agroproductivo del trigo, Ministerio de agricultura del Perú.
- Nitzke, J y Silveira, R. (2012). Instituto de ciencia y tecnología de alimentos-ICTA. Ingeniería de alimentos. Procesamiento de alimentos de origen vegetal. Universidad federal de Rio Grande, Brasil.
- NTP 205.064:2015 TRIGO. Harina de trigo para consumo humano. Requisitos. 1ª Edición, reemplazan a la NTP 205.027:1986.
- NTP 205.058:2015 TRIGO. Harina integral de trigo. Requisitos. 1ª, reemplazan a la NTP 205.027:1986
- NTP 205.005:1979 (Revisada el 2011). CEREALES Y MENESTRAS. Determinación de proteínas totales (método de Kjeldahl). 1a Edición
- Obregón Antonio, Contreras Eliana, Muñoz Ana María, Ayquipa Rita, Fernández Wendy (2013). Evaluación sensorial y físicoquímica de panes con sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harinas de maíz (*Zea mays*) y papa (*Solanum tuberosum*) ,73-76.
- Puig E. (2013). Mejora del valor nutricional y Tecnológico de productos de panadería por ingredientes a base de chía (*Salvia hispánica L.*). Tesis MAE. Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 13-15p.
- Quintong A, Tenesaca J. (2013). Análisis dela retrogradación del pan molde blanco mediante métodos experimentales convencionales y análisis térmico. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Quayaquil, Ecuador.



- Ramos Gamiño F. (2013). Maíz, trigo y arroz. Los cereales que alimentan al mundo. Primera edición, 2013. Revista ciencia conocimiento y tecnología. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.
- Reglamento Bromatológico Uruguayo (2015). Modificatoria del Artículo 18.2.40. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de <http://www.impo.com.uy/copetes/pdf/20150818/documentos.pdf>
- Ribotta, P. (2010). Efecto de amilasas sobre el perfil de azúcares y las propiedades reológicas de masas con alto contenido de almidón dañado. ICYTAC. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos Córdoba, UNC-CONICET.
- Ramírez Navas, J. S. (2012). Análisis Sensorial: Pruebas Orientadas al Consumidor. Cali: Reciteia.
- Ramírez, M., (2011). "Desarrollo de un pan "cubilete", adicionado de semillas de Chía (*Salvia hispanica* L.), como fuente de fibra para niños en edad escolar." V Congreso internacional de ingeniería bioquímica – México.
- Ronquillo R. (2012). Estudio del efecto de la adición de la enzima alfa amilasa en un pan tipo muffin, elaborado con diferentes tipos de Harina de Trigo. (Tesis para licenciatura). Facultad de Ciencia e Ingeniería En Alimentos Carrera de Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Campos, S., Ciau, N., Rosado, G., Chel, L., Betancur, D. (2014). Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán, México. *Agricultural Sciences* (5), No.3, 220-226.
- Salas, M. y Monika Haros, M. (2016) Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz. *Brazilian Journal of Food Technolpgy* (19), Brasil.
- Sandoval Oliveros, M. (2012). Aislamiento y caracterización de las proteínas de reserva de chía *Salvia hispánica* L. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, 80-111.
- Silveira Coelho, M., & Salas Mellado, M. (2013). Pan formulado con chía *Salvia hispánica* L. *La alimentación latinoamericana*, 28-49.

- Silveira M. & Salas-Mellado M. (2014). Effects of substituing chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *Food Science and Technology*. 60, 729-736.
- Steffolani, E., De la Hierra, E., Perez, G y Gomez, M. 2014. Efecto of chía (*Salvia hispánica*). Addition on the quality of gluten free bread *Journal of Food Quality*. 37(2014): 309-317
- Sosa, S. (2015) Caracterización del contenido de almidón de residuos de pan para la obtención de jarabe de glucosa. (Tesis pregrado) Universidad Politécnica de Catalunya, Castelldefels
- Toledo, L. (2015): Evaluación técnica comercial del aprovechamiento de la semilla de chía (*Salvia hispánica*) para elaboración de productos alternos (tesis pregrado) Universidad de las Américas.
- Tablas Peruanas de Composición de alimentos (2009). Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Lima-Perú.
- Torres Saura V, Grande Beltrán S, del Castillo Quesada E, Álvarez Fernández Belén, Guerrero Chica MD, Machuca Medina M. Procesos de panificación en la industria alimentaria. *Higiene y Sanidad Ambiental*. 2011 (citado 20 de septiembre de 2011); 11: 739-745.
- Ugena D. y Sánchez, F. J. (2015). Aceite de chía. Beneficios e inconvenientes de su consumo (Tesis pregrado).
- Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. (2013). Recuperado el 2016 de:  
[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content  
 &view=article&id=18&Itemid=29](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=29)
- Urbina, Karen (2015). Formulación, evaluación nutricional y sensorial del pan de molde integral enriquecido con quinua (*Chenopodium quinoa*), cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y chía (*Salvia hispánica* L.). (Tesis pregrado), Universidad Nacional del Santa, Perú.
- Vázquez Ovando J., Rosado Rubio J., Chel-Guerrero L., Betancur Ancona D. (2013). Procesamiento en seco de harina de chía (*Salvia hispánica* L.): Caracterización química de fibra y proteína. *Journal of Food* (8):2, 117-127.

Varanda C. (2014). Obten~ao e Caracteriza~o da Farinha de Castanha (*castanea spp.*) e seu potencial de aplica~ao em productos de panifica~ao. Universidad Estadual De Campinas, Brasil.

Zúñiga, H. (2014). MONOGRAFÍA: Biología de la chíá (*Salvia hispanica L.*). (Tesis pre grado) Santiago, Chile.

### III. ANEXOS

#### ANEXO I: ANÁLISIS EN LAS HARINAS

##### ANEXO 1.1: Caracterización químico-proximal de las harinas

###### ANEXO 1.1.1: Determinación de la humedad en las harinas

###### PRINCIPIO

Para determinar el contenido de humedad de los productos derivados de la harina de trigo u otros cereales, se sigue el procedimiento establecido por la Norma Técnica ITINTEC 205.037 (1974), denominado “Método de desecación por estufa”.

###### PROCEDIMIENTO

- Pesar las placas vacías en la balanza analítica.
- Agregar una muestra de 10 gramos de pan de molde.
- Llevar a la estufa por un lapso de 2.5 horas a 105°C.
- Una vez pasado el tiempo establecido, seca la muestra y dejar reposar por 5 minutos.
- Luego del reposo, pesar la muestra en placa.
- Mediante la fórmula, calcular el % de humedad de la muestra.

$$\%H = \frac{Pcmh - Pcms}{Pcmh - Pc} * 100$$

Dónde:

%H : Porcentaje de humedad.

Pcmh : Peso del recipiente más muestra bruta.

Pcms : Peso del recipiente más muestra seca.

Pc : Peso del recipiente.



**Figura 67:** Determinación de la humedad en las harinas

## ANEXO 1.1.2: Determinación de cenizas en las harinas

### PRINCIPIO

Este método determina las cenizas como el residuo remanente después de la incineración bajo las condiciones especificadas para la prueba. Para la determinación del porcentaje de cenizas, es decir, el porcentaje de sólidos y minerales en el producto, se puede seguir el procedimiento llamado “Método de Incineración”.

### PROCEDIMIENTO

- Pesar el crisol vacío en la balanza analítica.
- Agregar 3 o 4 gramos de muestra de pan, harina o pan molde.
- Quemar previamente la muestra en la cocina eléctrica, para evitar la expansión de malos olores y el manchado de la mufla por unos 15 minutos.
- Llevar la muestra a la mufla por un lapso de 1.5 horas a 600°C.
- Pasado el tiempo establecido, retirar la muestra de la mufla y dejar reposar por 15 minutos.
- Pesar la muestra en la balanza analítica.
- Mediante la fórmula siguiente, calcular el % de cenizas de la muestra.

$$\%C = \frac{P_{cz} - P_c}{P_{cm} - P_c} * 100$$

Dónde:

C : Contenido de cenizas.

P<sub>cz</sub> : Peso del crisol + ceniza.

P<sub>cm</sub> : Peso del crisol + muestra.

P<sub>c</sub> : Peso del crisol tarado.



**Figura 68:** Determinación de cenizas en las harinas

### ANEXO 1.1.3: Determinación de grasas en las harinas

- Se pesan de 3 a 5 gramos de muestra seca, empaquetándolo en papel filtro y se coloca en la cámara de extracción del equipo Soxhlet. Agregar hexano hasta una parte del mismo sea sifoneado hacia el balón (125 ml).
- Seguidamente se conecta a la fuente de calor. Al calentarse el solvente se evapora y asciende a la parte superior del equipo, allí se condensa por refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando posteriormente al balón por sifonado arrastrando consigo el extracto etéreo. El ciclo es cerrado, la velocidad de goteo del hexano debe ser 45 a 60 gotas por minuto. El proceso dura de 2 a 4 horas dependiendo de contenido graso de la muestra y de la muestra en sí.
- El hexano se recibe en el balón previamente secado y tarado.
- Retirar el balón con el extracto etéreo cuando ya no contenga hexano.
- Evaporar el solvente permanente en el balón, con una estufa (30 minutos por 105°C), enfriar en una campana de desecación por un espacio de 30 minutos y pesar. Cálculo:

$$\%Grasa = \frac{(A_2 - A_1)}{m} * 100$$

Dónde:

A<sub>2</sub> : Peso del balón con el hexano etéreo (g).

A<sub>1</sub> : Peso del balón vacío (g).

m : peso de la muestra (g).



**Figura 69:** Determinación de grasas en las harinas

## ANEXO 1.2: Análisis fisicoquímicos en las harinas

### ANEXO 1.2.1: Medición de colorimetría en las harinas

#### PROCEDIMIENTO

El espectrofotómetro fue calibrado antes de cada ensayo con un plato estándar blanco.

- A cada muestra de harina o pan se le efectuaron 3 mediciones de color informándose el valor promedio.
- Como medida objetiva del color se utilizó el sistema Cie-Lab (C.I.E., 1986), que define cada color a partir de tres coordenadas denominadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .
- Las magnitudes  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  son adimensionales y se definen en función del tipo de estímulo y del blanco de referencia para tratar de simular a los observadores reales (Joshi & Brimelou, 2002).
- La coordenada  $L^*$  recibe el nombre de luminosidad y  $a^*$  y  $b^*$  son las coordenadas colorimétricas que forman un plano perpendicular a la luminosidad, siendo, a su vez, perpendiculares entre sí.
- El corte del eje  $L^*$  con el plano que forman  $a^*$  y  $b^*$  es el punto acromático. El valor de  $a^*$  es una medida de la intensidad del color rojo, en el desplazamiento sobre el eje  $a^*$  hacia valores positivos del punto acromático se observan los rojos y para valores negativos los verdes.
- El valor  $b^*$  es una medida de la intensidad de color amarillo, en el desplazamiento sobre el eje  $b^*$  hacia valores positivos del punto acromático se observan los amarillos y para valores negativos los azules.



**Figura 70:** Medición de colorimetría en las harinas

## **ANEXO 1.2.2: Evaluación reológica de las harinas**

### **ANEXO 1.2.2.1. Evaluación amilográfico**

#### **A. Determinación del contenido de Humedad de la muestra (mezcla de harinas).**

Los métodos estándares para los test con el Amilograph están basados en una muestra con e14% de humedad. No obstante como la humedad de la muestra real puede apartarse ligeramente de este valor, es necesario medir el contenido de humedad de las muestras a estudiar (en el Anexo A.1., se observa el procedimiento para determinar la humedad).

A partir de la humedad básica (menú "Options"- "Settings") que se estima en el software y de la humedad real de la muestra, el software corrige automáticamente el peso de la muestra y la cantidad de agua a utilizar para el test.

#### **B. Ingreso de los parámetros del test.**

- Iniciamos el programa.
- Seleccionamos el menú Test "-New". Se abre una ventana para ingresar los parámetros del test:
  - ✓ Seleccionamos el método: Flour.
  - ✓ Muestra Real: Humedad medida.
  - ✓ Muestra Nominal: Peso (g) y cantidad de agua (ml).
  - ✓ Seleccionamos la T<sup>o</sup> inicial: 30°C.
  - ✓ Seleccionamos el índice calorífico: °C/min
- En el campo "Method" seleccionamos uno de los dos métodos predeterminados (Flour = harina o Wholemeal = harina integral) en este caso seleccionamos el nombre de un método nuevo para las mezclas a evaluar.
- En el campo "Moisture", ingresa la humedad real medida de la muestra.
- En el campo "ScartTemperature" se selecciona la temperatura inicial en este caso 30°C.



- En el campo "Heatingrate" se selecciona el índice de calentamiento en este caso 1.5 °C/min.

### **C. Preparación de la bureta.**

- Llenamos la bureta con agua destilada (nivel constante de llenado de 450ml).
- Colocamos 100ml de agua de la bureta llena en un tubo de medición.
- Marcamos el nivel de agua residual en la bureta (350ml).
- Volvemos a llenar la bureta a 450ml.

### **D. Preparación de la muestra para evaluación.**

El peso de la muestra y la cantidad de agua dependen siempre de la humedad real medida en la muestra. Para pesar la muestra y para agregar agua usamos la balanza de precisión.

- Medimos el peso de la muestra indicado por el Software (80g. Mezcla de harina para un 14% de humedad básica).
- Mezclar en un matraz Erlenmeyer de 100ml, con aproximadamente 360 ml de agua destilada de la preparación de bureta.
- Tapamos el matraz y agitamos aproximadamente 50 veces en 30 segundos.
- Colocamos la suspensión en el bol medidor de Amylograph.

### **E. Comienzo del test de los tratamientos.**

- Hacemos clic en el botón "Start" (El cabezal debe estar en posición superior. El sistema determina automáticamente la tara).
- Después de terminar la tara, el cabezal medidor baja a su posición de operación.
- Tiramos de la pieza de retención y empujamos el cabezal medidor hacia abajo hasta su posición de operación.
- El control de temperatura primero calienta hasta la temperatura inicial prefijada.
- Durante el test, el diagrama es registrado y se muestra en línea el monitor.

#### **F. Displays durante el test.**

Después de iniciado el test, el monitor muestra un diagrama con dos ejes “x” y uno “y”, dónde se representa lo siguiente:

- Eje X superior: Temperatura en °C.
- Eje X inferior: tiempo del test en min.
- Eje Y: viscosidad en AU (Unidades Amylograph).

#### **G. Tiempo del test, finalización del test.**

La transmisión de datos durante el test del Amylograph reporta los datos automáticamente y cuando transcurre el tiempo del test, la transmisión de datos desde el Amylograph se detiene automáticamente. Los parámetros estándares del proceso del test son:

- T° inicial: 30°C
- Índice de calentamiento: 1.5 °C/min
- Tiempo total del test: 42min + 5 min =47 min tiempo de mantenimiento.

#### **H. Evaluación del test.**

Se calculan los siguientes puntos de evaluación que aparecen en el diagrama:

- Comienzo de Gelatinización.
- Temperatura de Gelatinización.
- Gelatinización Máxima.



**Figura 71:** Evaluación amilográfica de las harinas

## ANEXO 1.2.2.2. Evaluación farinográfico

### A. Preparación de la muestra para evaluación.

- Según el método Brabender, para determinar los parámetros farinográficos se requiere una muestra (mezcla de harinas) de 300g.
- Según los tratamientos a estudiar, preparar las muestras tomando como el total 300g para cada mezcla.
- Rotular las mezclas para evitar confusiones.

### B. Comienzo del test de los tratamientos.

- Pesar agua destilada en un vaso de 500ml el equivalente de 56% de la mezcla de harinas.

$$Agua = \frac{56}{100} * 300g = 186g.$$

- Pesar el equivalente 18% de NaCl.

$$NaCl = \frac{18}{100} * 300 = 54g.$$

- Agregar el NaCl al agua destilada del vaso, disolver por 3 min.
- Calibrar la balanza interna del farinográfico (el equipo indicará la cantidad de agua necesaria, el que debe pararse y agregarse con un vaso precipitado al tanque del equipo).
- Observar en la pantalla del PC la indicación del Software “balanza calibrada”.
- Ingresar los valores pedidos por el Software, como humedad de la mezcla de la harina, simple, code number, etc.
- Agregar los 300g de mezcla de harina en el mixer del equipo.
- Agregar los 54g de NaCl.
- Realizar el análisis farinográfico.

### **C. Displays durante el test.**

- Después de iniciado el test, el monitor muestra un diagrama con dos ejes “x” y un eje “y”, donde se representa lo siguiente:
  - ✓ Eje “y” (lado derecho del farinograma): Temperatura en °C.
  - ✓ Eje “x” inferior: el tiempo en min.
  - ✓ Eje “y”: torque (Unidades farinográficas).
  
- Como resultado se observa tres curvas construidas, dos curvas azules (superior e inferior) y la curva verde (centro) que es el promedio de las curvas azules.

### **D. Tiempo del test y finalización del test.**

La transmisión de datos durante el análisis farigráfico reporta los datos automáticamente y cuando transcurre el tiempo del test, la transmisión de datos desde el farigráfico se detiene automáticamente. Los parámetros estándares del análisis son:

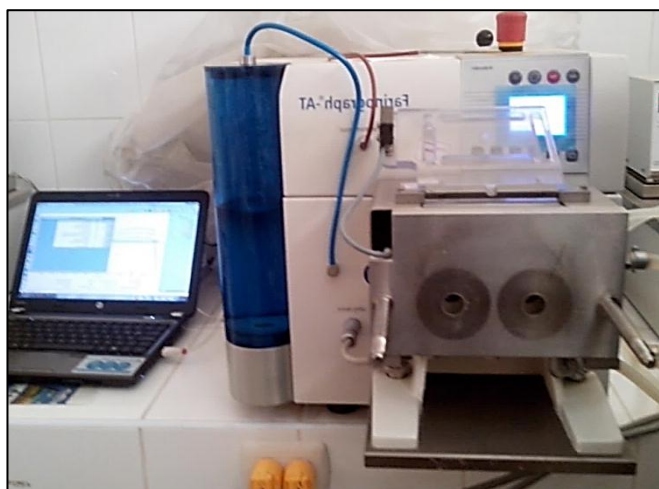
- ✓ T° inicial: 30°C
- ✓ Índice de calentamiento: 1.5°C/min.
- ✓ Tiempo total del test: 20 – 30 min.

### **E. Evaluación del test.**

Se calculan los siguientes puntos de evaluación que aparecen en el diagrama:

- ✓ Tiempo de desarrollo o tiempo de amasado (Development time) en min.
- ✓ Estabilidad (Stability) en in.
- ✓ Índice de tolerancia (Tolerance index (MTI)) en FE.
- ✓ Ruptura o bajada (Drop-off) en FE.

- ✓ Tiempo de ruptura (Time to breakdown) en min.
- ✓ Consistencia (Consistency) en FE.
- ✓ Absorbancia de agua con respecto a la consistencia (Water absorption corr, for default consistency) en %.
- ✓ Absorbancia de agua corregido (Water absorption) en %.
- ✓ Absorbancia de agua con respecto a la humedad de las harinas (Water absorption corr, for default moisture content) en %.



*Figura 72: Evaluación farinográfica de las harinas.*

### **ANEXO 1.2.2.3. Evaluación extensográfico**

#### **A. Desarrollo básico de la medición.**

El método de medición con el Extensograph – E, está determinado por estándares internacionales y nacionales (por ejemplo. Estándar ICC N° 114/1, ISO 5530-2, estándar A.ACC 300). Además existen métodos levemente modificados. Para esta investigación se está empleando el método A.AAC 300.

## **B. Comienzo del test de los tratamientos.**

### **- Amasado de la masa en Farinograph:**

La masa para la medición en el extensograph se prepara en el farigraph. Esto garantiza una consistencia reproducible de la masa teniendo en cuenta la capacidad higroscópica de las distintas calidades de harina.

Colocamos 300g de mezcla de las harinas a analizar en el amasado Farinograph y cerrar con la tapa del amasador.

- ✓ Seleccionar la cantidad de agua destilada para el amasado de tal modo, que al final del tiempo de amasado se logre una consistencia de 500 FU.
- ✓ De la bureta del farinograph colocamos la cantidad de agua prevista en un matraz de Erlenmeyer y disolvemos en el mismo 54g sal.
- ✓ Conectar el Farinograph a  $63 \text{ min}^{-1}$  revoluciones por minuto (esperar la calibración del punto cero) y premezclar la harina en el amasador y regulamos a por 1 min.

## **C. Pesaje y homogenización de la masa:**

- Retiramos la muestra del amasador abierto.
- Pesar 150g de la masa extraída del amasador del farinógrafo.
- Levantamos la cubierta superior del homogenizador y colocar la muestra para ser boleado.
- Después 15-20 segundos el homogenizador a bolas se desconecta automáticamente, retiramos la masa del homogenizador a bolas y cerramos.
  
- Dar forma de cilindro de la muestra para ser fermentado.
  
- ✓ Colocamos la bola (muestra) de masa en la guía del cilindro (ubicado en la parte superior del extensógrafo).

- ✓ Presionamos el botón de inicio del rodillo, para girar y moldear la masa en forma de cilindro.
- ✓ Después de una pasada la masa sale por la parte de adelante del rodillo de la masa en forma de cilindro de forma pareja y queda depositada sobre la ranura delantera.

#### **D. Fermentación de la masa.**

- Una vez formada la masa en forma cilíndrica, la masa es colocada en bandeja de las cámaras del gabinete de fermentación con sus respectivas grampas.
- Tomar la bandeja con la masa, colocar en el soporte de bandejas de la cámara de fermentación y volver a cerrar el gabinete de fermentación.
- Calentar el extensógrafo hasta 26°C.
- Llegado a la temperatura de calentamiento se da inicio a la fermentación por 30min.
- Terminada la etapa de fermentación (controlada con el cronómetro) se procede a realizar las mediciones extensográficas.

#### **E. Medición de parámetros extensográficos.**

Se realizan 3 mediciones extensográficas a 30 min, 60 min y 90 min.

##### **a) Primera medición a 30 min.**

- Abrir e iniciar el software de la pc para realizar la medición del extensograma.
- Colocar la bandeja con la masa de la muestra sobre el soporte de la bandeja de la masa del sistema de medición.
- Presionar el primero de los tres botones de inicio, para poner en marcha el condicionamiento para el dispositivo de extensión.

- Observar como la palanca de extensión baja velocidad constante y estira el tramo de masa hasta su rotura. Durante este traslado el equipo reporta automáticamente los parámetros extensográficos al PC.
- Después de la rotura de la masa el gancho de extensión baja aún más hasta su posición final inferior y desde allí regresa automáticamente hacia su punto de partida.
- Retirar del soporte la bandeja con la muestra o la masa.
- Retirar las grampas de la masa, extraer toda la masa recién medida.
- Levantamos la cubierta superior del homogenizador y colocar la muestra para ser boleado.
- Después de 15-20 segundos el homogenizador a bolas se desconecta automáticamente, retiramos la masa del homogenizador a bolas y cerramos.
- Realizar el mismo proceso de la homogenización (forma cilíndrica) de la muestra para ser fermentado.
- Realizar el mismo proceso de fermentación de la masa para la segunda medición.

**b) Segunda medición a 60 min.**

- Colocar la bandeja con la masa de la muestra sobre el soporte de la bandeja de la masa del sistema de medición.
- Presionar el primero de los tres botones de inicio, para poner en marcha el condicionamiento para el dispositivo de extensión.
- Observar como la palanca de extensión baja velocidad constante y estira el tramo de masa hasta su rotura. Durante este traslado el equipo reporta automáticamente los parámetros extensográficos al PC.
- Después de la rotura de la masa el gancho de extensión baja aún más hasta su posición final inferior y desde allí regresa automáticamente hacia su punto de partida.
- Retirar del soporte la bandeja con la muestra o la masa.
- Retirar las grampas de la masa, extraer toda la masa recién medida.



- Levantamos la cubierta superior del homogenizador y colocar la muestra para ser boleado.
- Después de 15-20 segundos el homogenizador a bolas se desconecta automáticamente, retiramos la masa del homogenizador a bolas y cerramos.
- Realizar el mismo proceso de la homogenización (forma cilíndrica) de la muestra para ser fermentado.
- Realizar el mismo proceso de fermentación de la masa para la segunda medición.

### c) Tercera medición a 90 min.

Realizar el mismo procedimiento de la segunda fermentación para realizar la última fermentación.

## F. Parámetros de la evaluación.

A partir del extensograma se desprenden y evalúan los siguientes valores:

- ✓ Energía.
- ✓ Resistencia al estiramiento.
- ✓ Elasticidad.
- ✓ Máximo.
- ✓ Relación de tensión.
- ✓ Relación de tensión máximo.



**Figura 73:** Evaluación extensográfica de las harinas.

## ANEXO II: ANÁLISIS EN EL PAN DE MOLDE

### ANEXO 2.1: Procedimiento para la determinación del volumen específico.

- Se colocó el pan de molde en un recipiente geométrico que contiene alpiste.
- Procedemos a retirar todas aquellas semillas de alpiste que fueron desplazadas por el pan.
- Mediante una probeta medimos las semillas que han sido desplazados lo que nos representa el volumen del pan.
- Este procedimiento se realiza por triplicado.

Cálculos:

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Volumen del pan de molde (ml)}}{\text{Masa (g)}}$$



**Figura 74:** Volumen específico del pan de molde.

## ANEXO 2.2: Procedimiento del análisis de textura para el pan de molde.

- Se procedió a colocar dos rebanadas de pan de molde de las 12 formulaciones sobre el texturómetro Texture Analyzer del Laboratorio de Análisis y Composición de los Alimentos.
- Se utilizó la probeta #2: TA 4/1000 Cilíndrico, 38.1 mm de diámetro y 20 mm de altura.
- Se realizó la toma de los datos realizando tres réplicas.



**Figura 75:** Análisis de textura para el pan de molde.

### **ANEXO 2.3: Determinación de Ácidos Grasos en el pan de molde.**

La composición de ácidos grasos se determinó usando el cromatógrafo de gases de la siguiente manera:

- Los ésteres metílicos de ácidos grasos fueron preparados de acuerdo al método FAMES, AOAC 991.39. Brevemente, 0,025 g de aceite se hizo reaccionar con 1,5 ml de NaOH 0,5 N a temperatura de 80-90 °C por 5 minutos.
- Se enfrió a temperatura de 30-40 °C agregándose 2,0 ml de trifluoruro de boro calentándose a 100°C por 30 minutos.
- Nuevamente se enfrió añadiéndose 1 ml de isooctano y 5 ml de solución saturada de NaCl, todo bajo agitación y cubierto constantemente con Nitrógeno.
- La identificación de los componentes se determinó en el cromatógrafo de gases (Shimadzu, modelo GC- 2010, Japón), equipado con un detector de ionización de llama (FID) y un muestreador automático Shimadzu AOC20. Una columna capilar de sílice SP Rt™ - 2560 (100 m x 0,25 mm con 0,25 µm film) se utilizó helio como gas portador a una velocidad de flujo de 30 ml/min y presión de 261,5 kPa. El Volumen de inyección fue de 1 µl.

## **ANEXO 2.4: Determinación de Proteínas en el pan de molde.**

### **Digestión de la materia orgánica:**

- Para el producto final, se pesó aproximadamente 1 gr. de muestra molida sobre papel libre de cenizas y se coloca dentro del balón Kjendhal.
- Se agregan 15 gr. de sulfato de potasio anhidro y 1 gr de sulfato de cobre anhidro.
- Se agregan 25 ml de ácido sulfúrico concentrado y luego se agita cuidadosamente la mezcla con movimiento circular.
- Se coloca el balón en el aparato de digestión y calentar la mezcla de digestión a temperatura baja hasta que cese la formación de espuma. Aumentar progresivamente la temperatura de la hornilla.
- Continuar calentando hasta obtener una solución transparente (o hasta que alcance un color azul- verde claro) libre de partículas de carbón y dejar por espacio de 90 minutos.
- Enfriar a temperatura ambiente, tapados con un tapón de jebe de neopreno y después agregar 150 ml de agua destilada y agitar con movimientos giratorios para mezclar.

### **Destilación del amoniaco:**

- Preparar un matraz Erlenmeyer de 500 ml, que contenga 50 ml de ácido sulfúrico a 0.1N y cantidad suficiente de agua, de tal manera que el terminar del condensador quede sumergido en la solución.
- En el balón de destilación agregar 60 ml de solución de NaOH al 50% a la muestra digestada diluida que se encuentra a temperatura ambiente, por la pared lateral del balón de destilación, colocar en la cocinilla el balón de destilación, agitar vigorosamente con movimientos giratorios para mezclar completamente el contenido y abrir la llave del agua del caño para que empiece el proceso de destilación.
- Destilar hasta que todo el amoniaco haya pasado a la solución, logrando destilar mayor o igual a 250 ml del destilado, bajar el matraz Erlenmeyer de

500 ml receptor y dejar drenar el líquido por la punta del condensador. Desconecta el calentador de destilación.

### Titulación:

- La solución de ácido sulfúrico a 0.1 N del matraz destilado se titula con solución estándar de NaOH 0.1 N, hasta lograr un cambio de color que indica el punto final. Registrar el gasto del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Calcular el contenido de nitrógeno mediante la siguiente fórmula. El contenido de nitrógeno de la muestra como porcentaje en masa (%N), es igual:

$$\%N \text{ total} = \frac{(V_{bk} - V_m) * N_{NaOH} * 0.014}{m} * 100$$

### Dónde:

- ✓ V<sub>bk</sub>= volumen en ml de solución estándar de hidróxido de sodio necesario para titular el ensayo en blanco.
- ✓ V<sub>m</sub>= Volumen, ml de solución estándar de hidróxido de sodio necesarios para la titulación de la muestra.
- ✓ N= normalidad de la solución estándar del hidróxido de sodio
- ✓ 0.014= meq – g del nitrógeno
- ✓ m= peso de la muestra en gramos

### Calculo del contenido de proteínas:

$$\%Proteínas \text{ Total} = \%N_{Total} * F$$

F: Factor de conversión de proteínas=6.35



**Figura 76:** Destilación de las muestras (harina y pan integral).



**Figura 77:** Titulación de las muestras (harina y pan integral).

## ANEXO 2.5: Determinación de fibra en el pan de molde.

$$FDT, \% = \frac{\frac{r_1 + r_2}{2} - C - P - B}{\frac{m_1 - m_2}{2}} * 100$$

$r_1$ : Residuo 1

$r_2$ : Residuo 2

$C$ : Ceniza

$P$ : Proteína

$B$ : Blanco

$m_1$ : Peso de muestra 1

$m_2$ : Peso de muestra 2



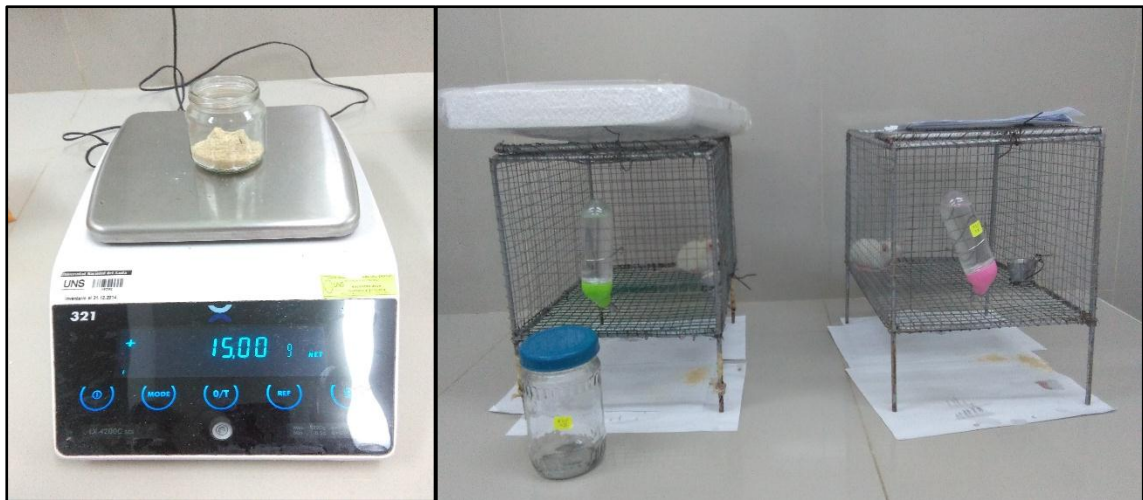
**Figura 78:** Determinación de Fibra en el pan de molde.



### ANEXO III: EVALUACIÓN BIOLÓGICA



**Figura 79:** Evaluación del Valor Biológico y Digestibilidad Aparente en las ratas.



**Figura 80:** Evaluación PER en las ratas.

## ANEXO IV: EVALUACIÓN SENSORIAL

### ANEXO 5.1: Ficha de evaluación sensorial

#### FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

##### ESCALA HEDÓNICA PARA MEDIR EL GRADO DE ACEPTACIÓN DEL PAN DE MOLDE

Nombre:..... Fecha: .....

Edad :.....

Evalúe las muestras de pan de molde enriquecido con harina de chía desgrasada y sin desgrasar en sus atributos de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general. Las calificaciones para los parámetros de evaluación del siguiente producto están en una escala cuantitativa del 1 al 7:

- 1 Me disgusta mucho
- 2 Me disgusta moderadamente
- 3 Me disgusta levemente
- 4 No me gusta ni me disgusta
- 5 Me gusta levemente
- 6 Me gusta moderadamente
- 7 Me gusta mucho

Código de Muestra	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad General

## ANEXO V: EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL

ANEXO 5.1: Ficha de evaluación sensorial del tiempo de vida útil del pan de molde.

### FICHA DE EVALUACIÓN DE VIDA ÚTIL DEL PAN DE MOLDE

Nombre:..... Fecha: .....

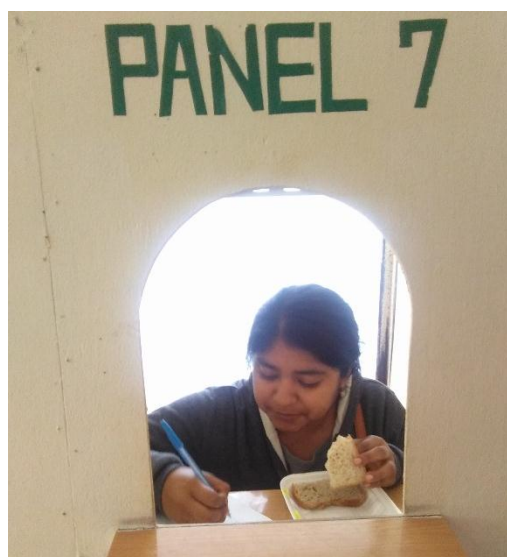
Edad : .....

Evalúe las muestras de pan de molde enriquecido con harina de chía desgrasada y sin desgrasar en sus atributos de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general. Las calificaciones para los parámetros de evaluación del siguiente producto están en una escala cuantitativa del 1 al 7:

- 1 Me disgusta mucho
- 2 Me disgusta moderadamente
- 3 Me disgusta levemente
- 4 No me gusta ni me disgusta
- 5 Me gusta levemente
- 6 Me gusta moderadamente
- 7 Me gusta mucho

Código de Muestra	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad General

**ANEXO VI: FOTOS DE EVALUACIÓN SENSORIAL**



**Figura 81:** Evaluación sensorial del pan de molde.