



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



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



UNS

UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE
ENRIQUECIDO CON TORTA DESGRASADA EXTRUÍDA
DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.)”.**

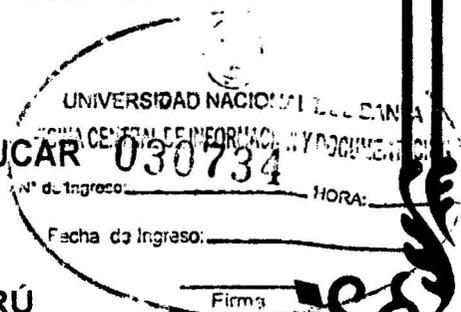
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

TESISTAS:

**Bach. AVELLANEDA TEJADA SHARO FELICITA
Bach. PARDO MARILUZ RAISA STEFANY**

ASESOR:

Dr. GILBERT RODRÍGUEZ PAUCAR



**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2015**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

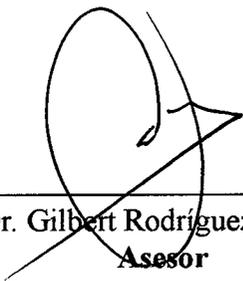


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE AGROINDUSTRIAL

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente trabajo de investigación titulado “**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE ENRIQUECIDO CON TORTA DESGRASADA EXTRUÍDA DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.)**”, ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de Asesor. Designado por Resolución Decanatural N°380-2014-UNS-FI.

Nuevo Chimbote, Noviembre del 2015



Dr. Gilbert Rodríguez Paucar
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE AGROINDUSTRIAL

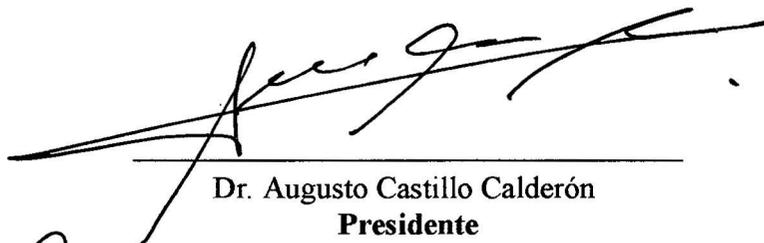
HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE
ENRIQUECIDO CON TORTA DESGRASADA EXTRUÍDA DE
SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.)”.**

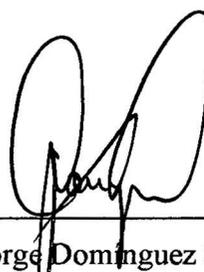
TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

**Tesistas: Bach. SHARO FELICITA AVELLANEDA TEJADA
Bach. RAISA STEFANY PARDO MARILUZ**

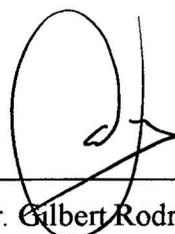
Revisado y Aprobado el 03 de Noviembre por el siguiente Jurado Evaluador,
designado mediante Resolución Decanatural N°339-2015-UNS-CFI



Dr. Augusto Castillo Calderón
Presidente



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Secretario



Dr. Gilbert Rodríguez Paucar
Integrante

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi querido padre Jesus, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi madre Salomé y a mis hermanitas Roxana y Patricia porque las amo infinitamente y son el motivo por el cual sigo adelante.

A Elvis, por su apoyo incondicional y comprensión, estando siempre a mi lado en los momentos más difíciles y demostrándome su infinito amor.

Sharo

A mi Dios, quién supo guiarme por el buen camino, dándome fuerzas para seguir adelante enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres Rosa y Walter por su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia para conseguir mis objetivos. A mis hermanos Geraldine y Walter por estar siempre presentes, acompañándome demostrándome su amor y apoyo.

A mis abuelos, gracias a su sabiduría influyeron en mí la madurez para lograr todos los objetivos en la vida.

A Jorge, por su apoyo y paciencia estando siempre a mi lado demostrándome su amor y comprensión.

Raisa

AGRADECIMIENTO

Queremos dejar constancia de nuestra inmensa gratitud a nuestro asesor, el Dr. Gilbert Rodríguez Paucar por su apoyo constante, paciencia, por las muestras de amistad y principalmente por su gran compromiso en la asesoría de la presente investigación.

A los docentes de la E.A.P. de Ingeniería Agroindustrial, por sus enseñanzas y apoyo durante nuestra formación académica.

De manera muy especial queremos agradecer al Ing. Jhon K. Gonzales, Ing. Pedro Ayala, a nuestro amigo Lenin, por el apoyo recibido durante el desarrollo de la tesis. Así como también al Instituto De Investigación Tecnológico Agroindustrial y a su personal, por permitirnos hacer uso de sus instalaciones y por su gran ayuda en la culminación de este trabajo de investigación.

RESUMEN

Se estudió la sustitución parcial de harina de trigo por torta desgrasada extruída de Sacha Inchi (55.71% de proteínas, 4.79% de grasa y 6.6% de fibra), en niveles de sustitución de 6.3%, 8.3%, 12.5%, 16.7%, 18.7% y 25%, partiendo del Computo Químico y establecidas utilizando un diseño de mezclas del programa estadístico Desing Expert versión 9, además se utilizó como control una muestra sin sustitución. Se evaluaron las características reológicas de las mezclas por amilografía, farinografía y extensografía. Los panes de molde se elaboraron utilizando el método directo evaluando posteriormente las características físicas, análisis químico proximal y los atributos sensoriales. El análisis sensorial reveló la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) para los atributos de apariencia, color, aroma, textura y sabor a partir de un nivel de 8.3%. Por otra parte, se determinó que la mejor sustitución se alcanzó con la incorporación de 6.3% de torta desgrasada extruída de sachá inchi. El incremento en el nivel de sustitución ocasionó el oscurecimiento en la miga, la reducción del volumen específico y el aumento de la textura, encontrándose valores de $L^* = 73.13$, $C^* = 16.35$ y $h^\circ = 86.70$; $2.28 \text{ cm}^3/\text{g}$ y 61.39 mJ respectivamente para la mejor sustitución, mostrando además de ello, contenidos de 24.47% de humedad, 10.34% de proteínas, 3.82% de fibra, 7.67% de grasa, 2.32% de cenizas, 51.4% de carbohidratos y 315.99 Kcal. Finalmente se evaluó la modificación en el perfil de ácidos grasos de la muestra de pan con la mayor aceptabilidad después del horneado, destacando una retención de 3.33% de ácido alfa linolénico ω -3, el cual está dentro del rango establecido por la FAO para alimentos funcionales.

Palabras-clave: trigo, torta desgrasada extruída de sachá inchi, composición fisicoquímica, atributos sensoriales, perfil lipídico.

ABSTRACT

The partial substitution of wheat flour by defatted extruded Sacha Inchi cake (55.71% protein, 4.79% fat and 6.6% fiber), in replacement levels of 6.3%, 8.3%, 12.5%, 16.7% was studied 18.7% and 25%, based on the chemical score and set using a mix design Desing Statistical Programme Expert version 9, also was used as a control sample without replacement. The rheological characteristics of the mixtures by amilografía, extensografía farinografía and evaluated. The loaves were prepared using the direct method subsequently evaluating the physical, proximal chemical analysis and sensory attributes. The sensory analysis revealed significant differences ($p < 0.05$) for the attributes of appearance, color, aroma, texture and flavor from a level of 8.3%. Moreover, it was determined that the best replacement was achieved with the addition of 6.3% of extruded defatted Sacha Inchi cake. The increased level of substitution resulted in the crumb browning, reduced bulk and increased texture, finding values of $L^* = 73.13$, $C^* = 16.35$ $h = 86.70^\circ$; $2.28\text{cm}^3 / \text{g}$ 61.39mJ respectively for the best substitution, it also showing, content of 24.47% moisture, 10.34% protein, 3.82% fiber, 7.67% fat, 2.32% ash, 51.4% carbohydrates and 315.99 Kcal. Finally modification was evaluated in the fatty acid profile of the sample of bread with greater acceptability after baking, emphasizing retention of 3.33% alpha linolenic acid ω -3, which is within the range established by the FAO Food functional.

Key words: wheat, defatted cake extruded Sacha inchi, physico-chemical composition, sensory attributes, lipid profile

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION.....	17
II.	REVISION BIBLIOGRAFICA.....	19
2.1	Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>).....	19
2.1.1	Generalidades del Sacha Inchi	19
2.1.2	Ubicación taxonómica.....	20
2.1.3	Morfología.....	21
2.1.4	Producción nacional y procesos productivos de la semilla de Sacha Inchi	23
2.1.5	Composición química.....	26
2.1.6	Ácidos grasos	29
2.1.7	Factores antinutricionales.....	31
2.1.8	Saponinas	31
2.1.9	Alcaloides	31
2.1.10	La cumarina.....	32
2.1.11	Taninos.....	33
2.1.12	Obtención de la torta desgrasada de Sacha Inchi.....	33
2.1.13	Extrusión de alimentos	35
2.1.14	Efecto de la extrusión sobre los almidones	36
2.1.15	Efecto de la extrusión sobre las grasas	36
2.1.16	Efecto de la extrusión sobre la proteína.....	37
2.2	El trigo (<i>Triticum vulgare</i>).....	37
2.2.1	Generalidades del trigo.....	37
2.2.2	Taxonomía y morfología	38
2.2.3	Morfología.....	38
2.2.4	Composición química del trigo (<i>Triticum vulgare</i>).....	41
2.2.5	Clasificación general del trigo.....	44
2.3	Harina de trigo	46
2.3.1	Definición	46
2.3.2	Composición química.....	47
2.3.3	Principales componentes de la harina.....	48
2.3.4	Tipos De Harinas	49
2.3.5	Mezclas alimenticias.....	49
2.3.6	Complementación proteica	49

2.3.7	Computo químico.....	50
2.3.8	Control de calidad de las harinas	51
2.3.9	Características reológicas de las harinas	53
2.4	El pan	59
2.4.1	Definición de pan de molde.....	60
2.4.2	Materias Primas E Insumos.....	62
2.4.3	Proceso de elaboración del pan de molde.....	68
2.4.4	Estimación de la calidad del pan	72
III.	MATERIALES Y METODOS	79
3.1	Lugar de ejecución.....	79
3.2	Materia prima e insumos	79
3.2.1	Harina de trigo	79
3.2.2	Sacha Inchi	79
3.2.3	Insumos.....	80
3.3	Equipos, materiales y reactivos	80
3.3.1	Equipos	80
3.3.2	Utensilios	80
3.4	Para la evaluación tecnológica del pan de molde	81
3.4.1	Equipos	81
3.4.2	Reactivos	82
3.4.3	Materiales de vidrio y otros.....	83
3.5	Procedimiento experimental de la investigación.....	84
3.6	Obtención de la torta desgrasada extruida de Sacha inchi.....	86
3.7	Caracterización de las harinas de trigo y torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.....	88
3.7.1	Humedad.....	88
3.7.2	Proteína	88
3.7.3	Grasa.....	88
3.7.4	Ceniza.....	88
3.7.5	Fibra	88
3.7.6	Carbohidratos.....	89
3.7.7	Actividad de agua.....	89
3.7.8	Análisis reológico de las formulaciones	89
3.7.9	Cálculo del cómputo químico de las formulaciones.....	90
3.7.10	Colorimetría.....	91

3.8	Elaboración del pan de molde	91
3.8.1	Procedimiento para la elaboración del pan de molde	93
3.8.2	Evaluación de los panes	96
IV.	RESULTADOS	100
4.1	Obtención de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi....	100
4.2	Caracterización de las harinas	103
4.2.1	Evaluación químico proximal de las harinas.....	103
4.2.2	Colorimetría de las harinas	106
4.2.3	Análisis reológico de las harinas.....	110
4.2.4	Cálculo del cómputo químico (CQ).....	147
4.3	Evaluación de la calidad de los panes.....	149
4.3.1	Textura.....	149
4.3.2	Volumen específico	153
4.3.3	Análisis químico proximal de los panes.....	158
4.3.4	Evaluación del color de la miga y la corteza	167
4.3.5	Evaluación sensorial	172
4.4	Evaluación del perfil ácidos grasos	200
V.	CONCLUSIONES.....	205
VI.	RECOMENDACIONES.....	206
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	207
ANEXOS	219

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción taxonómica del Sacha Inchi	21
Tabla 2: Comparación de componentes de la almendra de Sacha Inchi con otras oleaginosas (%)	26
Tabla 3: Comparación del perfil de aminoácidos de la proteína de Sacha Inchi con otras proteínas de semillas oleaginosas ^{a,b}	27
Tabla 4: Composición de aminoácidos esenciales de los residuos de la extracción del aceite de Sacha Inchi <i>Plukenetia Volubilis</i> L. (Mg/G) en comparación con otras oleaginosas y la FAO/OMS	28
Tabla 5: Perfil lipídico del aceite de Sacha Inchi y aceites de otras fuentes oleaginosas	30
Tabla 6: Caracterización del aceite y de la semilla de Sacha Inchi	30
Tabla 7: Presencia de alcaloides en la almendra de Sacha Inchi	32
Tabla 8: Presencia de Cumarina en almendras de Sacha Inchi.....	32
Tabla 9: Análisis composicional de la torta desgrasada de Sacha Inchi (<i>Plukenetia Volubilis</i>).....	35
Tabla 10: Clasificación taxonómica del trigo.....	38
Tabla 11: Composición físico química del grano de trigo por 100g de porción comestible	43
Tabla 12: Clasificación del trigo con base en sus características generales de calidad y su uso industrial	45
Tabla 13: Composición físico química de la harina de trigo por 100g de porción comestible	47
Tabla 14: Variación en el contenido de cenizas según el tipo de harina de trigo	52
Tabla 15: Parámetros farinográficos de harinas con diferentes fuerzas ..	57
Tabla 16: Parámetros farinográficos para diferentes productos de panificación y pastelería	57
Tabla 17: Parámetros del extensograma para las diferentes harinas según su uso	58
Tabla 18: Criterios Físicoquímicos.....	60
Tabla 19: Composición físicoquímica del pan de molde por 100g de porción comestible	61

Tabla 20: Formulación utilizada para la producción de pan de molde.....	91
Tabla 21: Presentación de las formulaciones desarrolladas para la elaboración de panes de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha inchi.	92
Tabla 22: Análisis proximal de la harina de trigo	103
Tabla 23: Análisis proximal de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi	104
Tabla 24: Parámetros de color a, b, L, C* y h° de las harinas	106
Tabla 25: Valores obtenidos para textura	149
Tabla 26: Tabla ANOVA para textura	149
Tabla 27: Resultados para el volumen específico.....	153
Tabla 28: Tabla ANOVA para el volumen específico.....	153
Tabla 29: Resumen de las formulaciones analizadas por el amilograma	111
Tabla 30: ANOVA de temperatura de gelatinización (°C).....	115
Tabla 31: ANOVA de máximo de gelatinización	110
Tabla 32: Resumen de las formulaciones analizadas por farinografía ...	121
Tabla 33: ANOVA para la absorción de agua.....	119
Tabla 34: ANOVA para el tiempo de desarrollo de la masa.....	119
Tabla 35: ANOVA para la estabilidad	120
Tabla 36: Resumen de las formulaciones analizadas por extensografía	135
Tabla 37: ANOVA de Resistencia a la Extensión.....	132
Tabla 38: ANOVA de Extensibilidad	133
Tabla 39: ANOVA de Área.....	133
Tabla 40: ANOVA de Máximo Bu	134
Tabla 41: Computo químico para las distintas formulaciones enriquecidas con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi	148
Tabla 42: Composición química de los panes elaborados con adición de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, en las diferentes formulaciones	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 43: Cuadro resumen de los parámetros de color para la miga.....	168
Tabla 44: Valores medios de aroma, y sabor de los panes adicionados con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi	173
Tabla 45: ANOVA para el atributo de apariencia	174
Tabla 46: ANOVA para el atributo color	180

Tabla 47: ANOVA para el atributo de aroma	184
Tabla 48: ANOVA para el atributo de textura	189
Tabla 49: ANOVA para el atributo de sabor	194
Tabla 50: Perfil de ácidos grasos	200
Tabla 51: ANOVA para la proteína (%)	227
Tabla 52: ANOVA para la Humedad (%)	227
Tabla 53: ANOVA para las grasas (%)	227
Tabla 54: ANOVA para las cenizas (%).....	227
Tabla 55: ANOVA para los carbohidratos (%).....	227
Tabla 56: ANOVA para fibra (%).....	228

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: A-D) Cambios desarrollados en la Morfología, tamaño y peso del fruto y semilla del Sacha Inchi, E) Cápsula verde y cápsula tetrámera, F) semillas de Sacha Inchi.....	22
Figura 2: Principales zonas productivas del cultivo de Sacha Inchi en el Perú.....	23
Figura 3: Evolución anual de las exportaciones de Sacha Inchi.....	24
Figura 4: Potencial agroindustrial del Sacha Inchi.....	25
Figura 5: Morfología del trigo.....	40
Figura 6: Esquema de las partes de un grano de trigo.....	42
Figura 7: Farinograma.....	56
Figura 8: Propiedades físicas de la masa.....	59
Figura 9: La célula de levadura.....	65
Figura 10: Esquema experimental para la elaboración de pan de molde enriquecido con torta desgrasada extruida de Sacha inchi.....	85
Figura 11: Flujo de operaciones para la obtención de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.....	87
Figura 12: Flujo de operaciones para la elaboración de pan de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.....	95
Figura 13: Torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.....	100
Figura 14: Obtención de la torta desgrasada extruida de sach inchi...	102
Figura 15: Comparación entre los valores CIEL*,C*, h° para la harina de trigo y torta desgrasada extruida de Sacha inchi.....	108
Figura 16: Representación de las harinas.....	109
Figura 17: Gráfico de barras para la Textura de pan de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.....	150
Figura 18: Gráfico de comparaciones de Tuckey para la textura.....	151
Figura 19: Gráfico de cajas para la textura.....	152
Figura 20: Volumen específico de pan de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.....	154
Figura 21: Gráfico de cajas para el volumen específico de pan con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.....	156

Figura 22: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el volumen específico	156
Figura 23: Muestras de pan en los diferentes niveles con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi	157
Figura 24: Gráfica de características amilografica	114
Figura 25: Gráfico de comparaciones de Tuckey para la temperatura de gelatinización (°C)	113
Figura 26: Gráfico de comparaciones de Tuckey para máximo de gelatinización (°C)	113
Figura 27: Amilografía de la formulación F1	115
Figura 28: Amilografía de la formulación F2	116
Figura 29: Amilografía de la formulación F3	116
Figura 30: Amilografía de la formulación F4	¡Error! Marcador no definido.
Figura 31: Amilografía de la formulación F5	117
Figura 32: Amilografía de la formulación F6	118
Figura 33: Curva amilográfica de la formulación F7	118
Figura 34: Gráfica de series de tiempo de características farinográficas	122
Figura 35: Farinografía de la formulación F1	128
Figura 36: Farinografía de la formulación F2	128
Figura 37: Farinografía de la formulación F3	129
Figura 38: Farinografía de la formulación F4	129
Figura 39: Farinografía de la formulación F5	130
Figura 40: Farinografía de la formulación F6	130
Figura 41: Farinografía de la formulación F7	131
Figura 42: Efecto de la adición de torta desgrasada extruida de sachá inchi en la resistencia (BU)	136
Figura 43: Efecto de la adición de torta desgrasada extruida de sachá inchi en la extensibilidad (mm)	136
Figura 44: Efecto de la adición de torta desgrasada extruida de sachá inchi en el área (cm²)	137
Figura 45: Efecto de la adición de torta desgrasada extruida de sachá inchi en la resistencia máxima (BU)	137
Figura 46: Farinografía de la formulación F1	143

Figura 47: Farinografía de la formulación F2.....	144
Figura 48: Farinografía de la formulación F4.....	144
Figura 49: Farinografía de la formulación F5.....	145
Figura 50: Farinografía de la formulación F6.....	145
Figura 51: Farinografía de la formulación F7.....	146
Figura 52: Probabilidad Normal de la variable de Respuesta % Proteína	166
Figura 53: Gráfico de barras químico-proximal de los panes enriquecidos con torta desgrasada extruída de Sacha Inchi	160
Figura 54: Gráfico de barras del análisis de color de la miga y corteza de los panes enriquecidos con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi .	169
Figura 55: Gráfico de cajas para el atributo de apariencia.....	174
Figura 56: Gráfico de barras para el atributo de apariencia.....	176
Figura 57: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de apariencia	178
Figura 58: Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por torta desgrasada extruida de Sacha Inchi	179
Figura 59: Gráfico de cajas para el atributo de color.....	181
Figura 60: Gráfico de barras para el atributo de color.....	182
Figura 61: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de color	183
Figura 62: Gráfico de cajas para el atributo de aroma.....	185
Figura 63: Gráfico de barras para el atributo de aroma.....	186
Figura 64: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de aroma	188
Figura 65: Gráfico de cajas para el atributo de textura	190
Figura 66: Gráfico de barras para el atributo de textura.....	192
Figura 67: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de textura	193
Figura 68: Gráfico de cajas para el atributo de sabor.....	195
Figura 69: Gráfico de barras para el atributo de sabor.....	196
Figura 70: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de sabor	198

Figura 71: Gráfico de barras para los atributos de color, apariencia, aroma, sabor y textura del pan enriquecido con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.....	199
Figura 72: Perfil lipídico de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi y del pan de molde.....	203
Figura 73: Cromatografía de gases	204
Figura 74: Balance de materia para la obtención de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi	220
Figura 75: Determinación de la humedad en las harinas	221
Figura 76: Determinación de cenizas de las harinas	224
Figura 77: Medición de color en las harinas.....	226
Figura 78: Equipo amilográfico.....	230
Figura 79: Equipo farinografo.....	232
Figura 80: Equipo extensografo	235
Figura 81: Simulación de boleado	235
Figura 82: Simulación de la fermentación	236
Figura 83: Prueba de elasticidad	236
Figura 84: Determinación del volumen específico del pan de molde.....	237
Figura 85: Análisis de textura	238
Figura 86: Elaboración del pan de molde	239
Figura 87: Panelistas	239
Figura 88: Prueba de aroma y textura	239

I. INTRODUCCION

El Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) es una planta oleaginosa silvestre y trepadora, crece en las tierras bajas de la Amazonia peruana, ha sido cultivada desde hace siglos por la población indígena. Las semillas de sachá inchi son ricas en grasas (41-54%) y proteínas (25-27%). El aceite de Sacha Inchi tiene un alto contenido (aproximadamente 85%) de ácidos grasos poliinsaturados, conocidos como omegas 3 y 6. (Chirinos R. et al., 2012).

El pan, en sus múltiples formas, es uno de los alimentos más ampliamente consumidos por la humanidad. Su popularidad es debida, sin duda, a su excelente sabor, precio y disponibilidad. Se ha convertido en la base de la dieta de todas las civilizaciones. 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.

El Sacha Inchi surge como una de las especies con potencial para ser la fuente de alimentos saludables en el futuro. Aunque menos común en formulaciones alimenticias que otros cereales, el sachá inchi debido a sus bondades presenta efectos benéficos para la salud de las personas en la prevención de enfermedades como artritis, cáncer, entre otros. Dewettinck et al. 2008; Gawlik-Dziki et al., 2009; Gawlik-Dziki, S'wieca, Dziki, et al, 2013.; Sivam, Sun-Waterhouse, Quek, y Perera, 2010, Citados por Swieca M., et. al (2014).

El objetivo de este trabajo de investigación es evaluar la calidad del pan de molde enriquecido con torta desgrasada extruída de Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis* L.), teniendo como objetivos específicos lo siguiente:

- ✓ Obtener torta desgrasada extruída de Sacha Inchi.
- ✓ Caracterizar físico-químicamente la torta desgrasada extruída de Sacha Inchi.
- ✓ Estudiar las propiedades reológicas de las masas de las diferentes formulaciones.
- ✓ Evaluar las características fisicoquímicas del pan de molde en las diferentes formulaciones.
- ✓ Realizar el análisis proximal de las diferentes formulaciones del pan de molde.
- ✓ Realizar los análisis sensoriales del pan molde.
- ✓ Determinar la mejor formulación en el pan de molde.
- ✓ Determinar el perfil de ácidos grasos de la torta desgrasada extruída de Sacha Inchi, mediante cromatografía de gases y del pan enriquecido de mayor aceptabilidad.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*)

2.1.1 Generalidades del Sacha Inchi

El Sacha Inchi es una planta nativa de la Amazonía Peruana descrita por primera vez, como especie, en el año 1753 por el Naturalista Linneo; de ahí su nombre científico *Plukenetia volubilis* Linneo. El orden a que pertenece (*Euphorbiaceae*) está distribuido en todo el mundo abarcando alrededor de 1280 géneros con 8000 especies. (Ortega, 2005).

Declarada en el 2004 por el congreso de la Republica mediante la ley N° 11367 como patrimonio genético nacional y producto alternativo en lucha contra la pobreza. Que por sus cualidades nutracéuticas, alimenticias, cosméticas y otras esta especie vegetal constituye, sin lugar a dudas, un importante recurso genético y un valioso aporte de nuestra Amazonia peruana a la humanidad. Reconocida a nivel mundial desde el 2004 donde se expuso las virtudes de esta planta y de su aceite extra virgen oleaginosa en la feria organizada en Francia, obteniendo la medalla de oro en el "World Edible Oil Competition" por su inigualable composición de omega 3, escaso en otros productos vegetales. (Agroindustrias Amazónicas, 2006).

La composición de dicha planta la hace benéfica, tal como ha sido comprobado por los análisis realizados por el instituto de ciencia de los alimentos de la universidad de Cornell de los Estados Unidos de Norteamérica. Muestra que el sachu inchi presenta un inusual nivel elevado de aceites (49%) y un contenido relativamente alto de proteínas (33%) con un alto grado de digestibilidad. El aceite de esta semilla es

muy rico en ácidos grasos poliinsaturados Omega, comparativamente con otras semillas oleaginosas utilizadas para la extracción de aceites para el consumo humano. El aceite de la semilla del sachá inchi tiene el más alto contenido de ácido graso linolénico, el más valioso de los aceites Omega 3, controla y reduce el colesterol y es fundamental en la formación del tejido nervioso y ocular, (Más de la mitad del cerebro es Omega 3, que intervienen en la formación de membranas celulares y en el transporte de nutrientes en el torrente sanguíneo) además que ayuda a mantener el equilibrio en nuestro metabolismo y contribuye a la regulación de la presión y de las funciones renales, principalmente.

Según el informe de ADEX, PROMPEX y Biocomercio Perú (2012), el producto que presenta mayores índices de exportación es el aceite de sachá inchi, sin embargo este proceso produce un sub producto que es la torta desgrasada que es una fuente muy buena de proteína y que puede ser aprovechada como sustituto a la torta de soya, ya que las investigaciones reportan mayor porcentaje de proteína, la torta por la naturaleza de proceso en frío podría contener antinutrientes los que pueden ser inactivados por procesos térmicos. (Muzquiz, et al., 2006).

2.1.2 Ubicación taxonómica

El género *Plukenetia* pertenece a la familia Euphorbiaceae (Euforbiaceas) la cual comprende plantas anuales, de importancia ornamental, medicinal, alimenticia e industrial, que se caracterizan principalmente por la presencia de una sustancia lechosa, tipo látex y frutos capsulares. El género está compuesto por 19 especies; tiene una distribución pantropical, 12 especies se encuentran en Sudamérica y

Centroamérica y 7 en Europa. La más alta variabilidad dentro de *P. volubilis* se encuentra en la vertiente oriental de los Andes en Perú, en la frontera con Brasil. Las especies de *Plukenetia* son plantas trepadoras, lianas o raramente hierbas perennes, rastreras. (Herrera W., 2010, citado por Hurtado, 2013).

Tabla 1: Descripción taxonómica del Sacha Inchi

Orden	<i>Euphorbiales</i>
Familia	<i>Euphorbiaceae</i>
Género	<i>Plukenetia</i>
Especie	<i>volubilis</i> Linneo
Nombre Científico	<i>Plukenetia volubilis</i> L.
Nombre común	<i>Sacha Inchi</i>

Fuente: Arévalo (1996)

2.1.3 Morfología

Planta trepadora, voluble, semileñosa, posee hojas de color verde oscuro y de forma oval-elíptica, aseruladas y pinnitinervias, de 9 a 16 cm de largo y 6 a 10 cm de ancho. Su ápice es puntiagudo y su base es plana o semi-arriñonada, con peciolo de 2 a 6 cm de largo. Los frutos son capsulas de 3 a 5 cm de diámetro, poseen color verde intenso y al madurar tornan a un marrón negruzco. Usualmente presentan 04 lóbulos, pero algunos frutos presentan de 5 a 7. Las semillas se encuentran dentro de los lóbulos de las capsulas. En las semillas se encuentran los cotiledones en forma de almendras, cubiertas por una fina película blanca. Las semillas son en forma ovalada, de color marrón oscuro, con nervaduras notorias de 1.3 a 2.1 cm de diámetro según el ecotipo, de 7 a 8 mm de espesor y de 0.8 a 1.4 g. de peso, ligeramente

abultadas en el centro y aplastadas hacia los bordes. (Arfini y Antonioli, 2013).

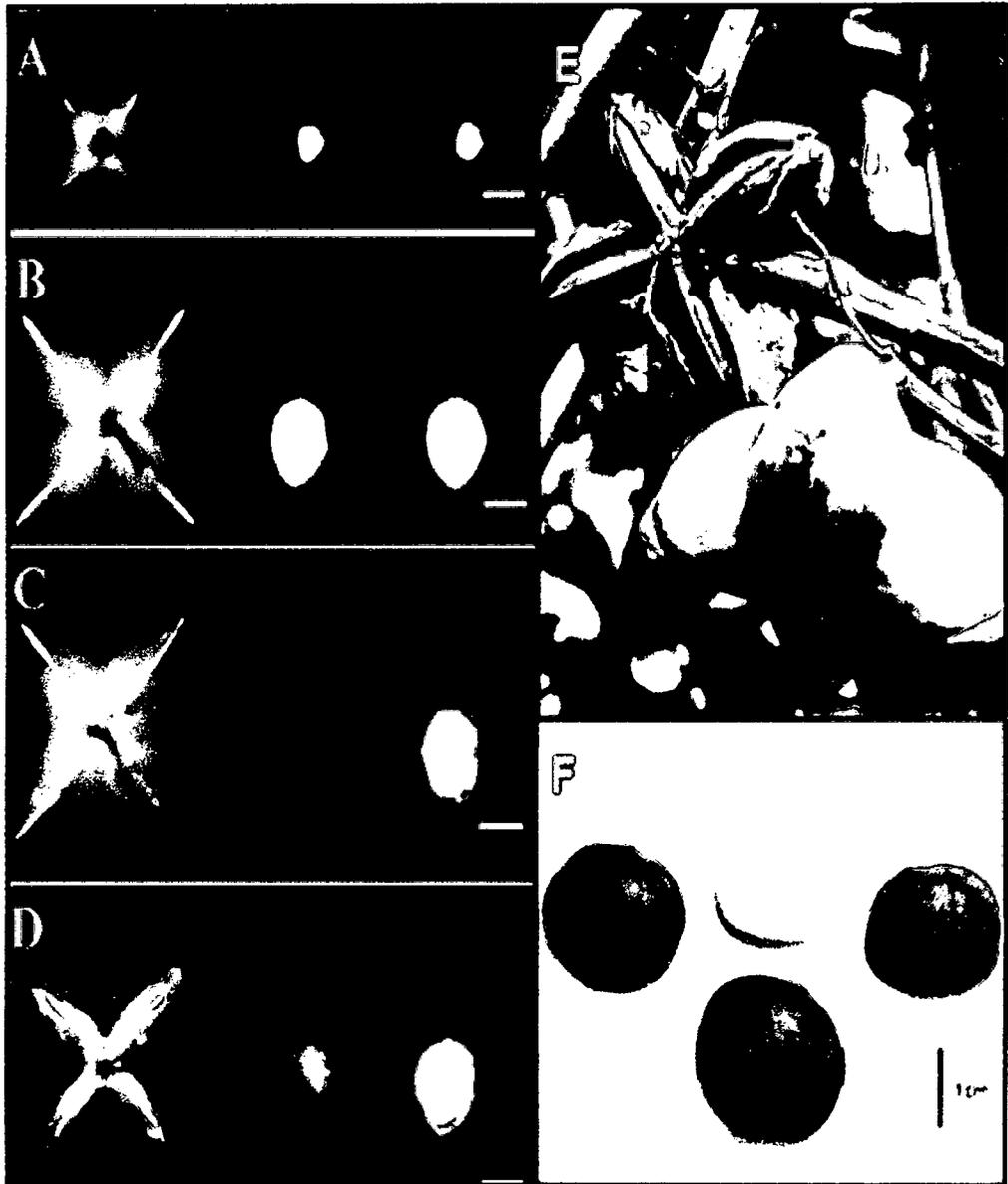


Figura 1: A-D) Cambios desarrollados en la Morfología, tamaño y peso del fruto y semilla del Sacha Inchi, E) Cápsula verde y cápsula tetrámera, F) semillas de Sacha Inchi.

Fuente: Longjian et al., 2014.

2.1.4 Producción nacional y procesos productivos de la semilla de Sacha Inchi

Inchi

El cultivo de Sacha Inchi en el Perú se encuentra principalmente en los Departamentos de Loreto, Ucayali, Madre de Dios, Cuzco, Junín, Pasco, Huánuco, San Martín y Amazonas. (Figura 2), siendo el Departamento de San Martín que está distribuido en varias provincias el de mayor distribución.

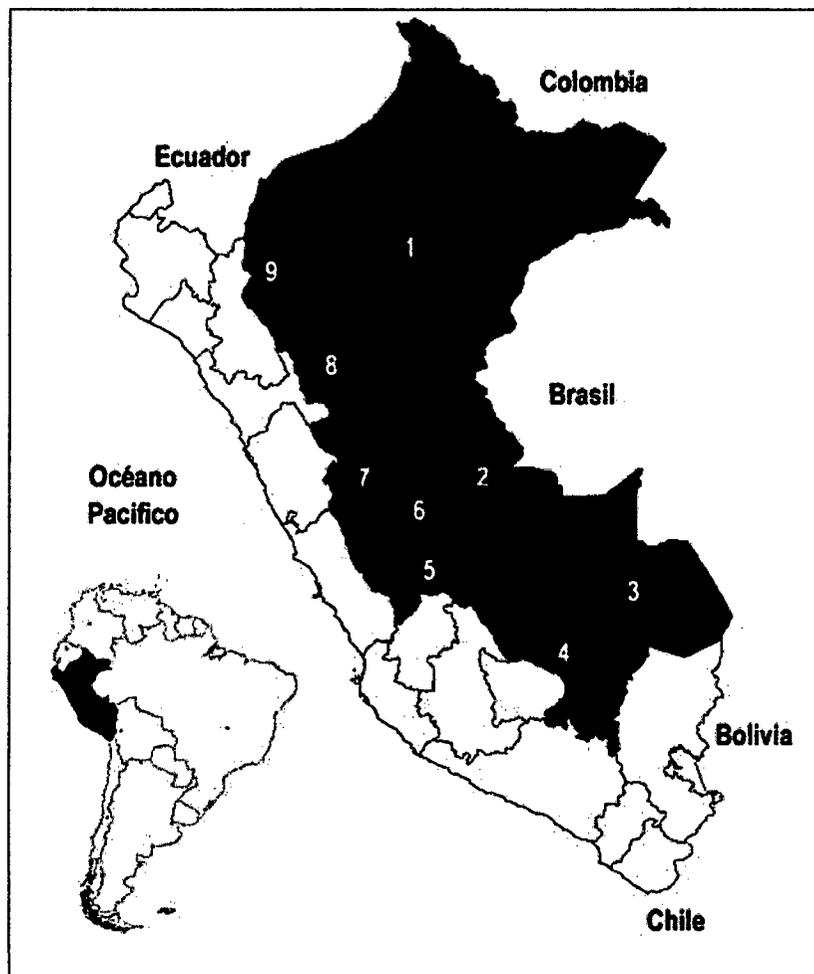


Figura 2: Principales zonas productivas del cultivo de Sacha Inchi en el Perú: 1) Loreto, 2) Ucayali, 3) Madre de Dios, 4) Cuzco, 5) Junín, 6) Pasco, 7) Huánuco, 8) San Martín y 9) Amazonas.

El potencial agroindustrial del cultivo de Sacha Inchi se basa en la relativa aceptación del mercado internacional del aceite virgen y en menor proporción, de la harina proteica, que se sustenta en las propiedades nutricionales que ostenta esta semilla oleaginosa. A finales del siglo pasado y principios de este siglo, se caracteriza el valor alimenticio y nutracéutico de esta oleaginosa por sus principios activos para la salud y por la composición de su aceite rico en ácidos grasos esenciales (IIAP, 2009). En la figura 4 se representa el potencial agroindustrial de las semillas de Sacha Inchi.

Entre los años 2004-2012 las exportaciones de sacha inchi en sus diferentes presentaciones experimentaron una creciente demanda internacional, cuya producción paso de 2,95 a 192 miles tm (figura 3). Las exportaciones de aceite y polvo de Sacha Inchi son las presentaciones de mayor importancia concentrando el 41.44% y 10.15% respectivamente.

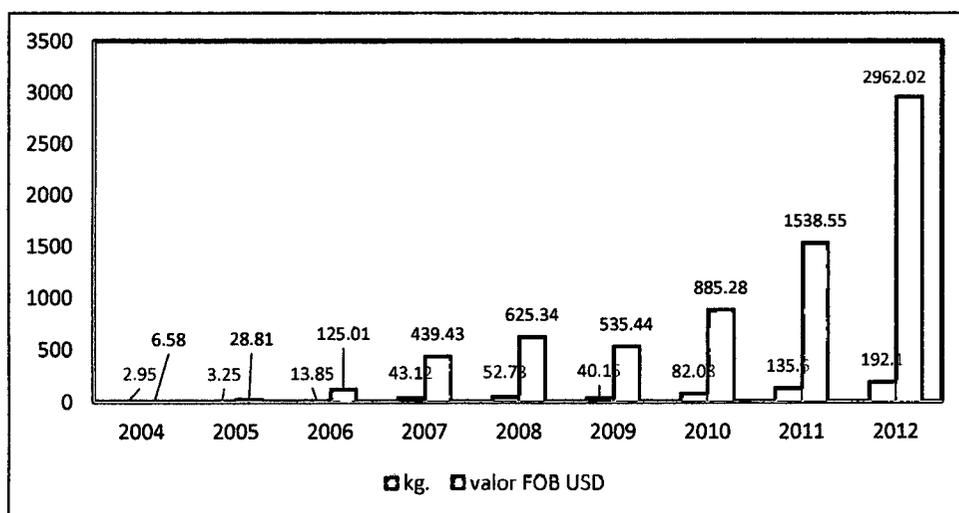


Figura 3: Evolución anual de las exportaciones de Sacha Inchi.

Fuente: Siicex, 2013

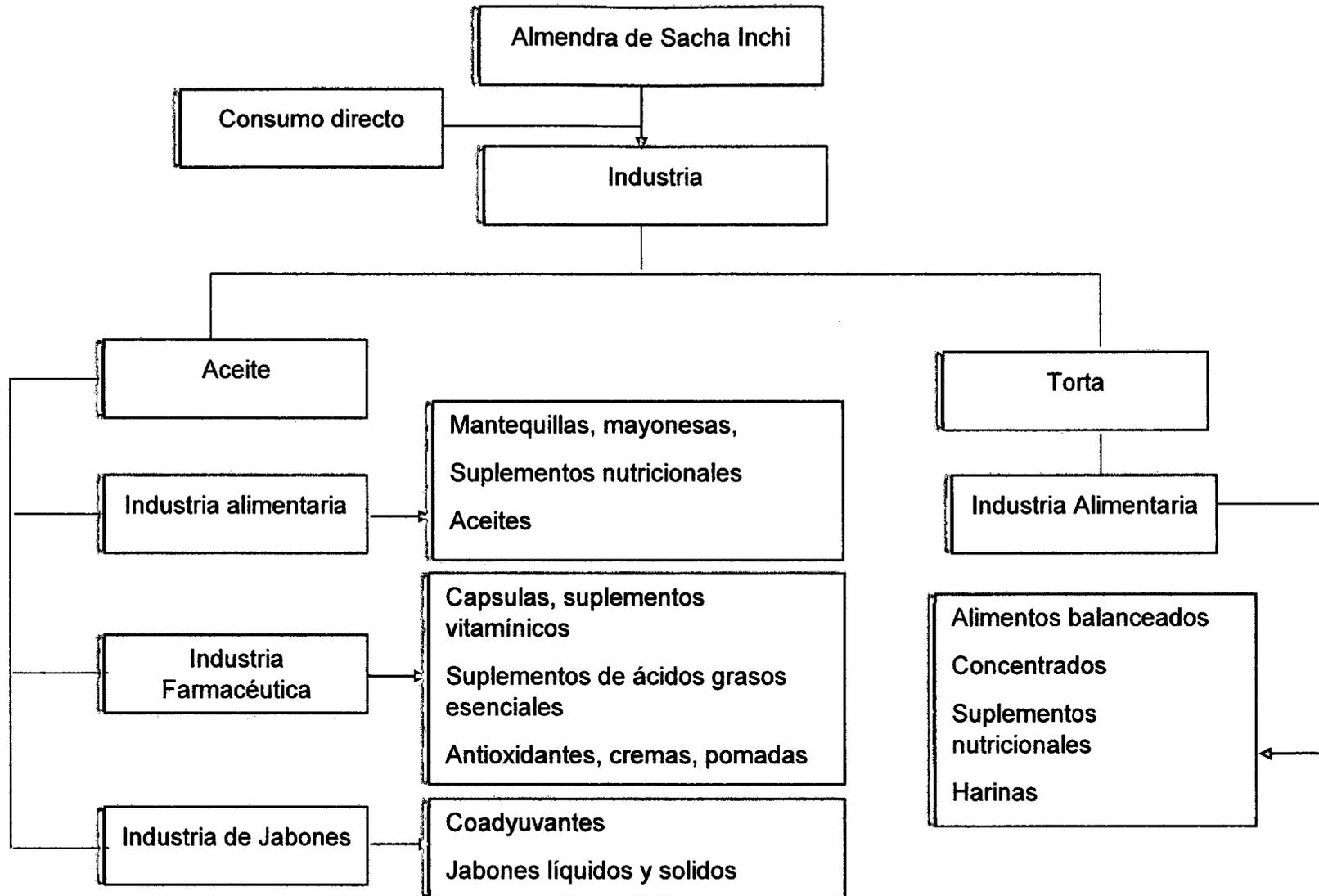


Figura 4: Potencial agroindustrial del Sacha Inchi

2.1.5 Composición química

Las semillas de Sacha Inchi contienen principalmente grasas y proteínas, y en menor proporción carbohidratos, vitaminas, esteroides y minerales, entre otros. (Tabla 2 y 3).

Hamaker et al. (1992), reportó un contenido de 54% de aceite y 27% de proteínas para las semillas de sachá Inchi y 53% para la torta desgrasada. El perfil de aminoácidos fue superior en algunos aspectos con respecto a otras oleaginosas a excepción de la lisina (43 mg frente a 58 mg/g de proteína) y leucina (64 frente a 66 mg/g de proteína) requeridos Comparado al patrón que recomienda la FAO/WHO/UNU. (Tabla 3 y 4). (Hamaker et al. 1992 y Hurtado, 2013).

Tabla 2: Comparación de componentes de la almendra de Sacha Inchi con otras oleaginosas (%)

Componentes	Sacha Inchi ¹	Soya ¹	Maní ¹	Girasol ¹	Algodón ¹
Humedad	4.2	11.7	7.3	4.8	8.1
Proteínas	33.3	28.2	23.3	24.0	32.9
Grasa	48.7	18.9	45.3	47.5	16.1
Carbohidratos	9.5	35.7	19.5	3.8	36.7
Fibra	1.6	4.6	2.1	11.1	4.8
Cenizas	2.7	5.6	2.4	5.2	6.2
Energía (Kcal.)	562.0	401.0	539.0	495.0	398.0
Composición de la semilla					
Cáscara:	32.5 % ¹	Cáscara: 45 – 48 % ²			
Almendra:	62.5 % ¹	Almendra: 55 – 52 % ²			
Humedad:	5.0 % ¹	Humedad: 5.68 – 7.46 % ²			

Fuentes: ¹ Hazen y Sidewessand (1980). ² Instituto Nacional de Investigación Agraria – Sub Dirección General de Recursos Genéticos y Biotecnología, 2004.

Tabla 3: Comparación del perfil de aminoácidos de la proteína de Sacha Inchi con otras proteínas de semillas oleaginosas ^{a,b}

Aminoácido	Sacha Inchi	Soya	Maní	Semilla de algodón	Girasol	FAO / OMS / ONUc
% Total de proteína	27	28	23	33	24	
	Esencial					
His	26	25	24	27	23	19
Ile	50	45	34	33	43	28
Leu	64	78	64	59	64	66
Lys	43	64	35	44	36	58
Met	12	13	12	13	19	...
Cys	25	13	13	16	15	...
Met + Cys	37	26	25	29	34	25
Phe	24	49	50	52	45	...
Tyr	55	31	39	29	19	...
Phe + Tyr	79	80	89	81	64	63
Thr	43	39	26	33	37	34
Trp	29	13	10	13	14	11
Val	40	48	42	46	51	35
	No esencial					
Ala	36	43	39	41	42	...
Arg	55	72	112	112	80	...
Asp	111	117	114	94	93	...
Glu	133	187	183	200	218	...
Gly	118	42	56	42	54	...
Pro	48	55	44	38	45	...
Ser	64	51	48	44	43	...
TEAA ^d	411	418	349	365	366	...
TAA ^e	976	985	945	936	941	...
TEAA como porcentaje de TAA	42	42	37	39	39	...

^a Valores para la soya, maní, semilla de algodón y girasol fueron tomado de Bod y Hopkins (1985).

^b Los valores mostrados son el miligramos / gramos de proteína a menos que se indique lo contrario (N x 6.25).

^c Nivel recomendado para niños en edad preescolar (2 – 5 años de edad) aunque recientemente para la evaluación la de calidad de la proteína en la dieta de todos los grupos de edad, excepto los bebés (Consulta FAO / OMS de Expertos 1990).

^d TEAA = Total de aminoácidos esenciales, ^e TAA = Total de aminoácidos.

Fuente: Hamaker et al., (1992)

Tabla 4: Composición de aminoácidos esenciales de los residuos de la extracción del aceite de Sacha Inchi *Plukenetia Volubilis* L. (Mg/G) en comparación con otras oleaginosas y la FAO/OMS

AMINOACIDO	<i>Chenopodium quinoa</i> W. quinua	<i>Chenopodium pallidicaule</i> cañihua	<i>Amaranthus caudatus</i> kiwicha	<i>Oxalis tuberosa</i> oca	<i>Plukenetia volubilis</i> L. sacha inchi	<i>Glycine max</i> L. soya	<i>Arachis hypogaea</i> L. Mani	<i>Helianthus annuus</i> L. girasol	FAO/OMS
Isoleucina	69	64	52	36	50	45	34	43	52
Leucina	67	58	46	53	64	78	64	64	70
Lisina	68	58	67	59	43	54	35	36	55
Metionina + Cisteína	33	16	35	25	37	26	25	34	35
Fenilalanina + tirosina	40	35	35	31	79	80	89	54	60
Treonina	45	47	51	45	43	39	26	37	40
Triptófano	13	8	11	5	29	13	10	14	10
Valina	35	45	45	48	40	48	42	51	35

Fuente: Aporte de los cultivos andinos a la nutrición humana. Raíces Andinas. Hamaker et al., (1992).

** : Residuo industrial de la extracción del aceite del *Plukenetia volubilis*

2.1.6 Ácidos grasos

En lo que se refiere al contenido de aceite, éste es más alto que en las semillas de soja, cacahuete, algodón y girasol y su contenido de ácido linolénico es más elevado que en los aceites de las semillas mencionadas. (Tabla 5).

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 151.400:2009), el perfil de ácidos grasos del aceite de *Plukenetia volubilis* L., debe contener como mínimo 8.9 % de ácido graso oleico, 32.1 % de ácido graso linoleico y 44.7 % de ácido graso linolénico.

Gutiérrez L., et al 2010, en el análisis de ácidos revelo que los ácidos grasos linolénico (50.8%) y linoleico (33.4%) fueron los principales ácidos grasos presentes en el aceite de sachá inchi con bajo niveles de oleico (9.1%), palmítico (4.4%) y esteárico (2.4%). Asimismo resultados obtenidos por Follegatti- Romeroa, et al. (2009) y el reportado por Chiara Fanali et al. (2011), indican están por encima de la norma (50.41% y 46.8% respectivamente de ácido graso alfa linolenico, omega-3), lo que demuestra las bondades del aceite de Sachá Inchi. (Tabla 6).

Tabla 5: Perfil de ácidos grasos del aceite de Sacha Inchi y aceites de otras fuentes oleaginosas

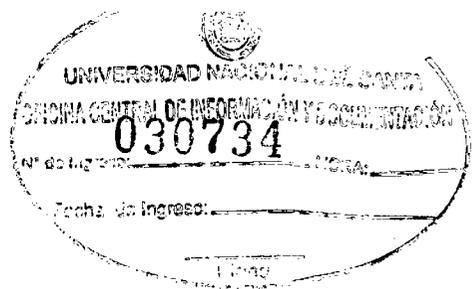
Ácidos Grasos	Sacha Inchi	Soya	Maní	Semillas de algodón	Semilla de girasol
Grasas totales	54	19	45	16	48
Saturados					
Mirístico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Palmítico	4.5	10.5	12.0	18.7	7.5
Esteárico	3.2	3.2	2.2	2.4	5.3
Insaturados					
Palmitoleico	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0
Oleico	9.6	22.3	41.3	18.7	29.3
Linoleico	36.8	54.5	36.8	57.5	57.9
Linolénico	45.2	8.3	0.0	0.5	0.0
Gadoleico	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0

Fuente: Hamaker et al., (1992)

Tabla 6: Perfil de ácidos grasos del aceite de Sacha Inchi

	Follegatti-Romeroa	Hamaker
Semillas		
Humedad%	4.38	
Aceites (total)%	54.3	54
Aceite crudo(extracción por Soxhlet)		
Valor de Iodo (gl2/100g aceite)	198	-
FFA como ácido linolénico (%)	3.0	-
Valor de Saponificación (mg KOH/g de aceite)	193	
Composición de ácidos grasos (%)		
Acido Palmítico (C16:0)	4.24	4.5
Ácido Esteárico (C18:0)	2.50	3.2
Ácido Oleico (C18:1)	8.41	9.6
Ácido Linoleico (C18:2)	34.08	36.8
Ácido linolénico (C18:3)	50.41	45.2
Ácido Gadoleico (C20:1)	0.16	0.0
Tocoferoles total (g/Kg)	2.39	-
α-Tocoferol	0	0.038-0.063
γ-Tocoferol	1.14	-
δ- Tocoferol	1.25	-
Caroteno	-	0.008

Fuente: Follegatti-Romeroa et al., (2009)



2.1.7 Factores antinutricionales

Entre sus factores anti nutricionales podemos mencionar a las saponinas y taninos, estas sustancias naturales no fibrosas son generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismos de defensa al ataque de hongos, por lo general son sintetizados durante el desarrollo de la semilla. Estos factores anti nutricionales son termolábiles, inactivados o destruidos mediante cocción, escaldado, tostado. (Elizalde, 2009).

2.1.8 Saponinas

Las saponinas son sustancias orgánicas de origen mixto, provienen tanto de glucósidos triterpenoides (de reacción generalmente ácida), como de esteroides derivados de perhidro 1,2 ciclopentano fenantreno. Las saponinas se caracterizan por la formación de espuma teniendo propiedades detergentes y surfactantes. Estas moléculas se hallan concentradas en la cascara de los granos y representan el principal factor antinutricional. Determinan en gran parte el sabor amargo de algunas semillas como la soya cruda, quinua sin desaponificar y el sachá Inchi (Rodríguez, 2001). Mondragón (2009), por cuantificación espectrofotométrica encontró 0.423% de saponinas, que se encuentra por encima de las exigencias del mercado (valor límite 0.05%). Al respecto las saponinas, son inhibidores del consumo (baja palatabilidad).

2.1.9 Alcaloides

Los alcaloides son metabolitos secundarios de las plantas sintetizados, generalmente, a partir de aminoácidos son por lo tanto nitrogenados,

que tienen en común su hidrosolubilidad a pH ácido y su solubilidad en solventes orgánicos a pH alcalino. De acuerdo a los resultados obtenidos por Pariona (2008), existe abundante cantidad de alcaloides en la almendra y es probable por ello que también exista alcaloides en la torta de sachá inchi.

Tabla 7: Presencia de alcaloides en la almendra de Sachá Inchi

	Extracto acuoso	Extracto etanólico
Reactivo de Dragendoff	++	++
Reactivo de Mayer	+++	+++
Reactivo de Wagner	+++	+++
Reactivo de Sonneschein	+++	+++

Simbología: (-) No detectable, (+) Poco o escaso, (++) Moderado, (+++) Abundante. Fuente: Pariona (2008)

2.1.10 La cumarina

La cumarina en sí no tiene propiedades anticoagulantes, ésta se transforma por acción de gran variedad de hongos en el anticoagulante natural dicumarol. Esto ocurre como resultado de la producción de la 4-hidroxycumarina, además (en presencia de formaldehído de origen natural) da lugar al dicumarol, un producto de fermentación y micotoxinas. Pariona (2008), reveló que existe moderada cantidad de cumarina en la almendra y es probable por ello que también exista cumarina en la torta de sachá inchi.

Tabla 8: Presencia de Cumarina en almendras de Sachá Inchi

Ensayos	Almendra (Sachá Inchi)
Cumarina fija	++

Fuente: Pariona (2008)

2.1.11 Taninos

Mondragón (2009), en el estudio farmacognóstico y bromatológico de los residuos industriales de la extracción del aceite de Sacha Inchi menciona que, los principales efectos de taninos se deben a la interacción de la proteína con los taninos condensados e hidrolizados, los taninos se adhieren con mayor fuerza a las proteínas con alto contenido de prolina. Los taninos afectan la digestibilidad de las proteínas y disminuye la actividad de las enzimas digestivas, por ello su retención de nitrógeno y aminoácidos esenciales. El mismo autor hizo un estudio de cuantificación de taninos en el residuo industrial de la extracción de aceite de sacha Inchi *Plukenetia volubilis* L. donde se cuantifico $1,3 \times 10^{-5}$ % de ácido tánico.

2.1.12 Obtención de la torta desgrasada de Sacha Inchi

Después de la cosecha, las capsulas son transportadas para su secado y trilla, el secado se realiza por acción directa al sol. Aproximadamente después de dos horas de sol, en gran parte de las capsulas deja al descubierto las semillas que son almacenadas en sacos de polietileno con capacidad de 50 kg, que se colocan en parihuelas de madera en ambiente seco.

La selección se realiza manualmente para separar las semillas de las materias extrañas; esta etapa puede realizarse en forma mecánica o con el empleo de cribas planas o tambores rotatorios. Antes del descascarillado, el acondicionamiento de las semillas mediante el secado es importante ya que permite disminuir la humedad y facilitar el descascarado. El descascarillado se realiza mediante una máquina que

permite retirar la cascara que envuelve la almendra. La molienda consiste en reducir el tamaño de las almendras para aumentar la superficie de contacto y facilitar la extracción de aceite, ya sea por prensado mecánico o disolvente. El secado consiste en someter a la almendra molida a temperaturas que oscilan entre los 60 y 100°C para conseguir la liberación del aceite.

El prensado se realiza para obtener el aceite crudo y la torta de Sacha Inchi. Posteriormente se efectúa un proceso de filtración para eliminar cualquier impureza y lograr un producto de calidad. La harina y torta son dos subproductos que se obtienen de la producción del aceite virgen. Tienen bajo contenido de aceite 10% para el caso de la torta y 1% para la harina (IIAP, 2009).

La torta obtenida después del proceso de extracción del aceite de Sacha Inchi, presenta alta cantidad de proteína (59.13%) y grasa (6.9%) en base seca (tabla 9), y surge como alternativa de la torta de soja, por ser una fuente no tradicional para consumo humano y animal, pues la actividad avícola y pecuaria importa aproximadamente cien mil toneladas de torta de soja al año. (Pascual y Mejía, 2000).

Tabla 9: Análisis composicional de la torta desgrasada de Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis)

Componente	Hurtado Z., 2013	Mondragón I., 2009	Pascual et al., 2000
Humedad	7.15	5.09	0.70
Cenizas	5.19	3.07	8.72
Grasa	4.84	35.44	6.93
Proteína	51.23	32.53	59.13
Fibra Bruta	4.79	3.00	17.30
Extracto Nitrogenado	No 26.50	20.87	7.91

Fuente: Pascual y Mejía (2000), Hurtado (2013), Mondragón (2009).

2.1.13 Extrusión de alimentos

La extrusión es definida como "el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico".

La extrusión tiene una gran aplicación en el proceso de alimentación.

En la extrusión de cereales o piensos el producto se ha ido humedeciendo hasta alcanzar una humedad entre el 22-30% y la temperatura se va incrementando por la transformación de la energía mecánica en calor en el mismo cañón del extrusor.

El agua es sometida a temperaturas muy superiores a las de su vaporización, pero permanece en estado líquido porque se encuentra sometida a elevadas presiones (varias decenas de atmósferas). En el momento en que el producto sale por el agujero de la matriz, el agua que está íntimamente mezclada con el producto sufre un brusco cambio de presión y se evapora instantáneamente.

Es por ello que el producto sufre una expansión y las cadenas proteicas así como las de almidón son modificadas, aumentando la superficie y haciéndose más atacable por los enzimas, con lo que el producto se hace más digestible.

El mayor interés de las harinas y almidones tratados mediante extrusión se centra en la alteración de sus propiedades funcionales.

2.1.14 Efecto de la extrusión sobre los almidones

El almidón se encuentra en los cereales en forma de gránulos pequeños de diferentes formas -esféricos, ovalados, lentillas, irregulares- en función de su origen. Dentro de los cereales el almidón existe en forma hidratada, polimérica y formando un entramado cristalino. En el proceso de extrusión, el gránulo de almidón absorbe agua y en el instante de salida de la matriz de la extrusora, el agua sometida a presión pasa a la forma de vapor y el almidón sufre un proceso de alineamiento, rizado y rotura.

2.1.15 Efecto de la extrusión sobre las grasas

Los aceites que contienen los cereales, los aceites de leguminosas como el contenido en la soya, al ser el producto extrusionado sufren un proceso de emulsión debido a la fuerte presión a que son sometidas las finas gotas de grasa y son recubiertas por los almidones y proteínas, quedando la grasa encapsulada. Generalmente las lipasas y peroxidasas son inactivadas durante el proceso de extrusión en condiciones normales, mejorando la estabilidad posterior del producto.

2.1.16 Efecto de la extrusión sobre la proteína

Los efectos de la temperatura de cocción sobre las proteínas son variados. La desnaturalización se traduce en efectos de interés, como inactivación enzimática de lipasas, proteasas, etc., mejora de la digestibilidad o reducción de algún poder tóxico. (Gil, 2010).

La extrusión de productos con elevado contenido proteico se suele realizar generalmente para controlar los inhibidores del crecimiento que están contenidos en las materias primas.

Durante el proceso de extrusión, estos inhibidores son suficientemente inactivados para evitar bloquear la actividad enzimática en el intestino. Estos procesos consiguen mínimo contenido en factores antitripsicos y por otro la máxima lisina disponible en el producto. Es conocido que la lisina es un aminoácido muy reactivo y el proceso que sea menos agresivo será el mejor desde el punto de vista nutritivo. La extrusión produce el desenredamiento de las cadenas proteicas vegetales. Las moléculas se alinean a largo de la matriz. En ausencia de cantidades importantes de almidón, la cocción por extrusión reduce la solubilidad de la proteína cuando la temperatura aumenta. Existe un proceso por el cual a medida que la temperatura se va elevando, la proteína se va perjudicando.

2.2 El trigo (*Triticum vulgare*)

2.2.1 Generalidades del trigo

La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *triticum*, que significa 'quebrado', 'triturado' o 'trillado', haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo

recubre. El trigo es uno de los tres cereales más cultivados globalmente junto al maíz y el arroz, y el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. El trigo se cultiva preferentemente para ser destinado al consumo humano, y en menor cantidad para ser piensos. (León, 2007).

2.2.2 Taxonomía y morfología

Tabla 10: Clasificación taxonómica del trigo

Taxonomía del Trigo	
Reino	Vegetal
Subreino	Fanerógamas
División	Cheteriodophitas
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Monocotiledonea
Orden	Cereales
Familia	Gramínea
Genero	Triticum
Especie	Vulgare
Nombre científico	Triticum Vulgare
Nombre común	Trigo

Fuente: Mateo (2005)

2.2.3 Morfología

A. Raíz

El trigo posee una raíz fasciculada, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad. (Pots, 1983)

B. Tallo

El

tallo del trigo es una caña hueca, poco ramificada, con seis nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0,5 a 2 metros de altura, es poco ramificado. (Mateo, 2005)

C. Hojas

Las hojas del trigo tienen una forma linear-lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas. (Pots, 1981)

D. Inflorescencia

La inflorescencia es una espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores (la mayoría de las cuales abortan) rodeadas por gluma, glumillas, lodículos o glomélulas. (Mateo, 2005)

E. Grano

Los granos de trigo son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. Están formados por tres partes principales (Figura 5): el salvado, o parte externa, el germen o embrión y el endospermo, que es la parte más interna del grano.

El germen sobresale en uno de los extremos y en el otro hay un mechón de pelos finos, el resto del grano se denomina endospermo, el cual es un depósito de alimentos para el embrión que representa el 82% del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco), una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas (figura 6). En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada.

El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo. El salvado está formado por numerosas capas ricas en vitaminas y minerales, así como con un alto contenido en proteína. (Ritchie y otros 2000).

El germen es la parte donde se inicia el origen de una nueva planta. El germen de trigo es una de las fuentes más ricas en vitaminas del grupo B y E, y contiene proteínas, grasas y minerales. El endospermo está formado principalmente por almidón, proteínas y, en menor medida, celulosas, y presenta un bajo contenido de vitaminas y minerales. La harina blanca está formada predominantemente por el endospermo. (Antoine et al., 2002).



Figura 5: Morfología del trigo

2.2.4 Composición química del trigo (*Triticum vulgare*)

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%(Kent,1971).

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, ácidos grasos, sustancias minerales y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas, enzimas y otras sustancias como pigmentos. (De la vega, 2009).

El contenido de proteína en el grano de trigo puede variar entre 9 y 17%, dependiendo de factores genéticos y factores asociados al cultivo del cereal. Una propiedad única del trigo es que cuando su proteína insoluble hace contacto con el agua, forma el gluten que confiere viscoelasticidad a la masa de panificación. Por lo tanto el gluten es el componente del grano de trigo más determinante de la calidad del mismo. La proteína del gluten representa entre 78 y 85 % de la proteína total del endospermo de trigo y, por lo tanto, las variaciones en el contenido total de proteína indican las variaciones en el contenido de gluten. (De la Cruz, 2009).

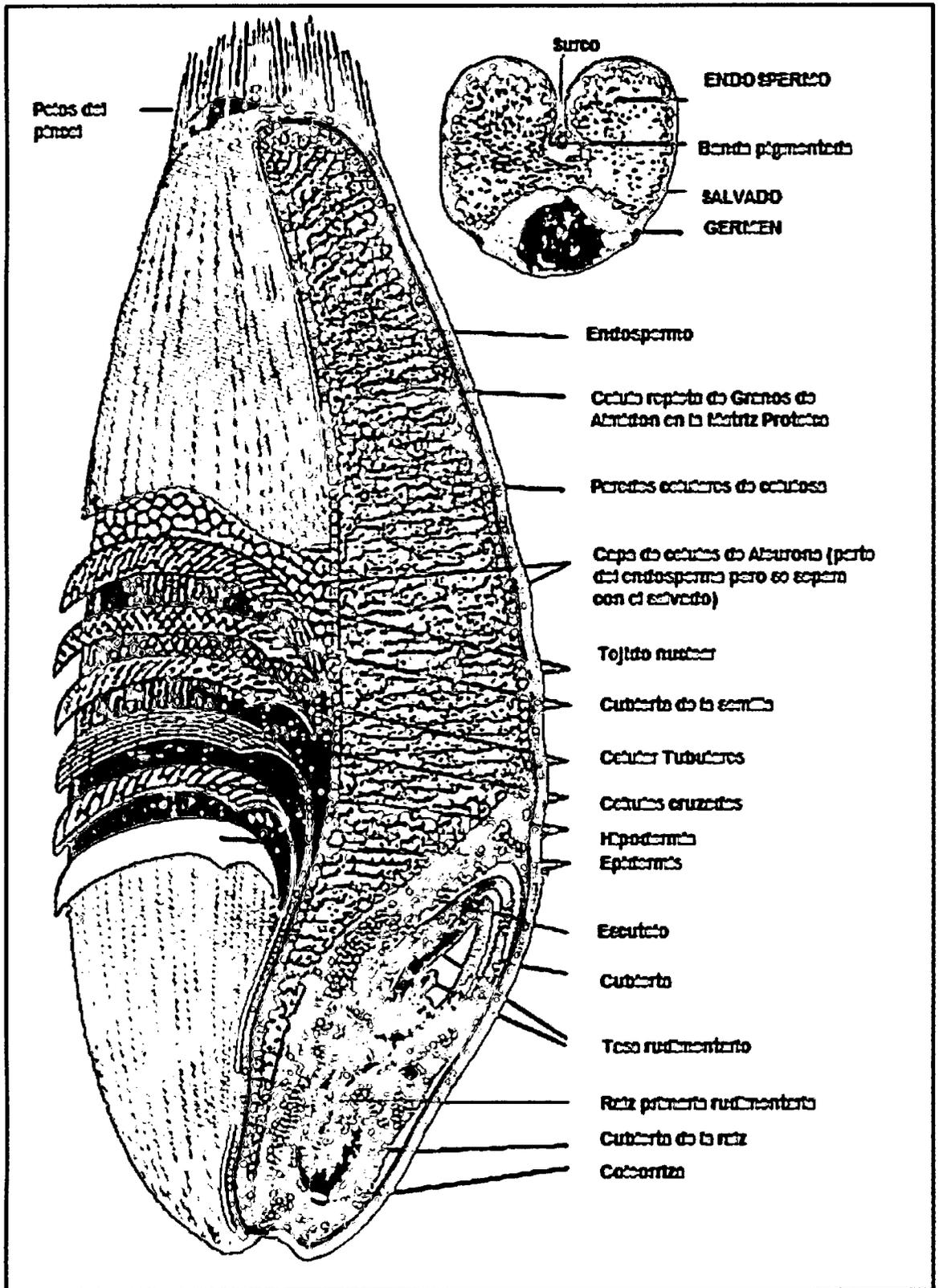


Figura 6: Esquema de las partes de un grano de trigo. (Hoseney, 1991)

Tabla 11: Composición físico química del grano de trigo por 100g de porción comestible

Componentes	Trigo
Energía (kcal)	303
Energía (kJ)	1267
Agua (g)	11.6
Proteínas (g)	10.30
Grasa total (g)	1.9
Carbohidratos totales (g)	74.7
Carbohidratos disponibles (g)	62.5
Fibra cruda (g)	3.0
Fibra dietaria (g)	12.2
Cenizas (g)	1.5
Calcio (mg)	36
Fósforo (mg)	314
Zinc (mg)	2.98
Hierro (mg)	3.87
β caroteno equivalentes totales (μg)	169.0
Retinol (μg)	0.00
Vitamina A equivalentes totales (μg)	0.0
Tiamina (mg)	0.42
Riboflavina (mg)	0.17
Niacina (mg)	3.89
Vitamina C (mg)	4.80
Ácido ascórbico total	•

La versión actual de las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos contiene celdas con el siguiente tipo de información:

- Cero (0,00 - 0,0), cuando el nutriente no se encuentra presente en el alimento o está en cantidades trazas.
- Cuando no se ha reportado o se desconoce el dato, se coloca la viñeta “•”.

Fuente: Tablas peruanas de composición de alimentos (2009).

2.2.5 Clasificación general del trigo

Los trigos se clasifican en función de la estación de cultivo, estos se clasifican en trigos invernales, primaverales e intermedios o facultativos. El trigo hexaploide (*Triticum aestivum*), comúnmente conocido como harinero, también se clasifica con base en el color de su grano en rojo y blanco. El trigo tetraploide (*Triticum durum*) es comúnmente conocido como durum o cristalino y tiene color ámbar. (Calaveras, 1996).

A. Según su fuerza

Un ejemplo de clasificación del trigo, con base en su uso o procesamiento, es de acuerdo a su textura y características de fuerza de gluten (Tabla 13). Los trigos de gluten fuerte y extensible (grupo 1) son necesarios en los procesos mecanizados de panificación (pan de molde en general) en los cuales las masas deben tolerar el trabajo intenso al cual son sometidas. Estos trigos también son utilizados como correctores de trigos de menor fuerza de gluten. Los trigos con gluten medio fuerte y extensible (grupo 2) son aptos para la producción semi-mecanizada y manual de pan a partir de masas fermentadas (pan blanco, pan de masa hojaldrada y pan dulce, moldeados manualmente y horneado sin molde) y no fermentadas (pan plano árabe, tortilla de harina, etc.). Por otro lado, los trigos de endospermo suave (l blando) y gluten débil (grupo 3), son requeridos en la industria galletera y de repostería. Estos trigos deben poseer un contenido de proteína menor que el de los trigos de los grupos 1 y 2. Los trigos de gluten tenaz (poco extensibles), del grupo 4, son altamente indeseables en la industria panificadora, ya

que producen masas de panificación que, por el hecho de tener extensibilidad muy limitada, presentan poca tolerancia al sobremezclado, deficiente capacidad de expansión durante la fermentación y el horneado, y pobres características de manejo y moldeado. El trigo cristalino o durum (grupo 5) produce semolina (harina gruesa) de color amarillo y posee un gluten medio fuerte a fuerte y tenaz, adecuado para elaborar pastas alimenticias muy densas y resistentes. (Calaveras, 1996).

Tabla 12: Clasificación del trigo con base en sus características generales de calidad y su uso industrial

Grupo de calidad	Fuerza del gluten	Uso Industrial	Observaciones
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)

B. Según la dureza del endospermo

La dureza de los trigos es una característica molinera relacionada con la forma en que el endospermo se rompe (Campbell et al., 2007); se trata de una cualidad genética (Chang et al., 2006) relacionada con su capacidad molinera y no con su calidad panadera, aunque normalmente a mayor dureza del grano mayor será el contenido proteico, y por tanto su calidad panadera.

- *Los trigos duros* producen una harina con mayor granulometría (sémola o semolina), arenosa y formada por partículas de forma regular que son, en su mayoría, células enteras del endospermo. Los trigos con esta aptitud suelen poseer un elevado contenido proteico y se les llama trigos fuertes. (León A., 2007)
- *Los trigos blandos* proporcionan una harina muy fina formada por fragmentos irregulares de las células del endospermo y partículas planas que se adhieren unas a otras. Estos son ideales para la fabricación de galletas y pastas, productos en los que no llega a desarrollarse el gluten, o porque no requieren fermentaciones con levadura. (León A., 2007)

2.3 Harina de trigo

2.3.1 Definición

Según la Norma Técnica Peruana 205.045: 1986 - INDECOPI, por harina de trigo se entiende al producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del

germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura. Esta norma establece que la humedad no debe ser mayor de 15.5% y que debe estar exenta de sabores y olores extraños. (Quaglia, 1991).

2.3.2 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% (Kent,1971).

Tabla 13: Composición físico química de la harina de trigo por 100g de porción comestible

ENERGÍA (Kcal)	354
Agua(g)	10,8
Proteína(g)	10,50
Grasa(g)	2
Carbohidratos(g)	76,3
Fibra(g)	1,5
Ceniza(g)	0,40
Calcio(mg)	36
Fosforo(mg)	108
Hierro(mg)	5,50
Retinol(mg)	0
Tiamina(mg)	0,11
Rivoflavina(mg)	0,06
Niacina(mg)	0,93
Ac. Ascórbico(mg)	1,80

Fuente: Tablas Peruanas De Composición de Alimentos. Octava Edición. MINSA, 2009.

2.3.3 Principales componentes de la harina

A. Carbohidratos: Se llama así a ciertos compuestos químicos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Constituyen la parte mayor del endospermo del trigo. El principal componente de la harina que contribuye en el poder de absorción gracias a que es muy ávido de agua es el almidón. (Cauvain,2002).

Dada su higroscopicidad, existe una competencia directa entre las proteínas y el almidón al añadir el agua al amasado. La constitución del almidón viene dada por dos componentes que son la amilasa (parte interna) y la amilopectina (parte externa), unidos entre sí por enlaces de hidrógeno. (Cauvain, 2002).

B. Proteínas: Son macromoléculas que contienen nitrógeno. Sus complejos compuestos de naturaleza coloidal, al contacto con el agua son los responsables de la formación del gluten que es bien conocido por el sector panadero. Las dos fracciones Gliadina y glutenina se unen con enlaces intermoleculares y forman el gluten es la sustancia que le da resistencia y elasticidad a la masa. La cantidad de aminoácidos esenciales que le da el valor biológico al alimento es menor en las proteínas presentes en mayor cantidad y por ende, son las que tienen un menor valor biológico. Para una buena panificación necesitamos que se forme un 24 o 26% de gluten. (Cauvain, 2002).

C. Humedad: La humedad de la Harina oscila alrededor del 14%. La harina con mucha humedad se puede poner mohosa. Al utilizar la

harina que perdió humedad se debe compensar echándole más agua en el mezclado. (Cauvain, 2002).

D. Cenizas: Es la cantidad de material mineral que tiene la harina. Depende de la clase de trigo y de la extracción. Las harinas patentes tienen menos cenizas que las claras. (Cauvain, 2002).

2.3.4 Tipos De Harinas

Las harinas pueden dividirse en dos grandes grupos:

A. Harinas Duras: Son aquellas que tienen un alto contenido de proteínas como el trigo rojo duro de invierno y rojo duro de primavera. (Cauvain, 2002).

B. Harinas Suaves: Son aquellas que tienen bajo contenido de proteínas y se extraen de trigos de baja proteína como el trigo blando rojo de invierno. Se utiliza para bizcochos y galletas. En algunos sistemas de molienda, es posible obtener del mismo trigo un tipo de harina con alto contenido de proteína y otro tipo de harina con baja proteína. A este sistema de molienda se le denomina molienda o separación por impacto. (Cauvain, 2002).

2.3.5 Mezclas alimenticias

Las mezclas alimenticias son combinaciones de diferentes alimentos: cereales, cultivos andinos, leguminosas, leche, etc.; que se efectúan a fin de obtener un producto final comestible de alta calidad nutricional, con un balance adecuado de AA esenciales en una dieta. Las mezclas se destinan principalmente a la población infantil en riesgo de desnutrición a fin de cubrir mejor sus necesidades nutricionales. (Mataix et al., 2003)

2.3.6 Complementación proteica

Aunque la calidad de una proteína sea la adecuada en términos de alimentación habitual, no se puede considerar la proteína de un alimento aislado, puesto que usualmente se mezclan alimentos con distintos tipos de proteínas. Así, la combinación de dos alimentos suministra proteínas que se complementan en sus aminoácidos deficitarios, el resultado es una proteína de mejor calidad que si se considera por separado. En general los cereales tienen cierta deficiencia en lisina. (Mateix et al., 2003).

2.3.7 Computo químico

Los métodos más comunes para determinar la calidad de las proteínas alimenticias se dividen en químicos y biológicos. Dentro de los métodos químicos se encuentra el método de computo químico, conocido como puntaje químico, número químico o score químico propuesto por Mitchell y Block (1946), este método se basa en calcular el porcentaje de presencia de los aminoácidos esenciales, con respecto al patrón de referencia de aminoácidos esenciales, con respecto al patrón de referencia de aminoácidos esenciales para niños mayores de un año y adultos g/100g (FAO/OMS, 1985). El porcentaje del aminoácido esencial, que está en menor proporción indica el aminoácido limitante al cual se le denomina score químico (SQ), cuando no hay déficit de ningún aminoácido esencial el SQ es 100% y equivale al de una proteína ideal o de referencia: por el contrario, si una proteína es carente en aminoácidos esenciales su SQ es cero. (Soriano, 2006). Los patrones de referencias, reciben este nombre debido a que son proteínas que permiten una óptima síntesis proteica por lo que son utilizados como

modelos, referencias o mezclas aminoacídicas deseables. (Soriano, 2006)

$$\text{Computo Químico} = \frac{\text{g.AAE. Alimento o mezcla}}{\text{g.AAE. Proteína patrón}}$$

2.3.8 Control de calidad de las harinas

A. Contenido de humedad

Constituye un indicador importante de la rentabilidad de la molienda. Un nivel reducido de humedad permite agregar más agua, lo que incrementa el peso del grano al moler sin prácticamente aumentar el costo. El contenido de humedad también es un indicador de la capacidad de almacenamiento de la harina, ya que los niveles reducidos de humedad la harina promueven un almacenamiento más estable. Según la norma del Instituto de Investigación Tecnológica e Industrial (INTITEC, 1981), la harina no debe tener más del 15% de humedad. (Repo-Carrasco, 1998).

B. Proteína

Es

un factor importante para determinar el valor del trigo ya que está relacionada con muchas propiedades de procesamiento, como la absorción de agua y la dureza del gluten. La cantidad de proteína cruda de una harina está relacionada con el nitrógeno total, mientras la evaluación de su calidad se relaciona, especialmente, con las características fisicoquímicas de los componentes del gluten. Es preferible un valor alto en proteína para productos como el pan de molde. (Repo-Carrasco, 1998)

C. Cenizas

Porcentaje del peso proveniente de minerales en el trigo o la harina. En el trigo, la ceniza se encuentra concentrada principalmente en el salvado y es una indicación del rendimiento que puede esperarse de la harina durante la molienda. En la harina el contenido de ceniza indica el rendimiento de la molienda revelando indirectamente la cantidad de contaminación de salvado en la harina. La ceniza en la harina puede producir un color más oscuro en los productos terminados. Los productos que requieren harina particularmente blanca exigen un contenido bajo en ceniza, mientras que el contenido de ceniza de la harina integral de trigo es mayor. (Repo-Carrasco, 1998)

Tabla 14: Variación en el contenido de cenizas según el tipo de harina de trigo

Harina	Contenido de cenizas %
Especial	0.64 máximo
Extra	0.65-1.0
Corriente	1.01-1.20
Semi-integral	1.21-1.40
Integral	1.41 mínimo

Fuente: Repo-Carrasco, (1998)

D. Color de la harina

La prueba del color de la harina informa también sobre el grado de extracción, tal como la prueba de cenizas. El color de la harina se deriva principalmente de su contenido de carotenoides, proteínas,

fibras y la presencia de impurezas en la harina. La harina de trigo para panadería debe ser amarillenta o levemente amarilla, sin manchas negras (salvado). El color se puede determinar de diferentes maneras, entre ellas podemos mencionar los estándares de pekar y colorímetros. El colorímetro Minolta es un método fácil de lectura directa son necesidad de preparación de la muestra, dando el resultado en distintas bandas de color, en el sistema L*, a*, b*, interpretado de la siguiente manera: L: luminosidad, mide el brillo y oscila entre 0 y 100. Cuanto más cerca del valor 100, más clara es la harina; a* indica la tonalidad predominante para el rojo, tonalidad predominante para el verde, mientras b* indica tonalidades amarillas y -b, tonalidades azules. (Repo-carrasco, 1998).

2.3.9 Características reológicas de las harinas

La calidad de los granos y harinas de cereales es definida por diversas características que asumen diferentes significados dependiendo de la designación de su uso o tipo de producto. Estas características pueden ser divididas en físicas, químicas y reológicas. (Rao Rao, 1993).

Una evaluación reológica de harina, en el cual son determinadas las propiedades de la masa, es de vital importancia para la industria de panificación permitiendo predecir su uso final (Gotkoski et al., 2002). La reología también desempeña un papel importante en el control de calidad en la especificación de ingredientes y aditivos a ser utilizados en los productos elaborados (Rao; Rao, 1993).

Entre las determinaciones disponibles para evaluar objetivamente las propiedades de la masa y definir su uso final de la harina en panificación, se incluyen las siguientes:

2.3.9.1 Amilografía

La amilografía es una técnica de gran utilidad, donde se mide las propiedades de elaboración de pasta del almidón de harina que son importantes para algunos productos finales. Para cuyo destino una característica importante es la viscosidad del producto después de la gelificación y para ajustar la adición de malta a las harinas de panificación. (Kent, 1971).

Un 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 (Kent, 1971).

2.3.9.2 Farinografía

Es el control importante en las harinas a fin de medir la plasticidad u movilidad de la masa cuando se la somete a amasado continuo a temperatura constante, es realizado con el farinógrafo Brabender. Esquemáticamente el farinógrafo Brabender registra en forma de banda ancha la fuerza que se requiere para accionar las palas de un mezclador que gira a velocidad constante a través de una masa de consistencia inicial fija. (Brabender, 2011).

En el curso del ensayo dicha fuerza varía según la naturaleza de la harina, produciéndose por consiguiente bandas o gráficos de

distintas formas que reciben el nombre de farinogramas (Brabender, 2011).

En general se puede decir que cuanto más tiempo resiste una harina al proceso de amasado, tanto más fuerte es. (Brabender, 2011).

Los resultados describen las propiedades de mezclado de la masa y son los siguientes:

A. Tiempo de desarrollo: intervalo de tiempo desde la primera adición de agua hasta la máxima obtención de consistencia máxima inmediatamente antes de la primera indicación de debilitamiento. Los tiempos de desarrollo prolongados indican presencia de propiedades fuertes de gluten y masa, mientras que los tiempos de desarrollo cortos pueden indicar propiedades débiles del gluten.

B. Estabilidad: intervalo entre el punto donde la parte superior de la curva se interseca por primera vez con la línea de 500 UB (denominada "tiempo de llegada) y el tiempo donde la parte superior abandona la línea de 500 UB ("tiempo de salida). Los tiempos prolongados de estabilidad indican propiedades fuertes del gluten y de la masa que son útiles en productos como el pan leudado con levadura, mientras que los tiempos cortos de estabilidad indican propiedades débiles de gluten que son útiles en muchos productos de repostería. (Camelo, 2007).

C. Absorción: cantidad de agua (expresada en porcentaje del peso de la harina de trigo con un 14% de humedad) necesaria para centralizar el pico de la curva en la línea de 500 UB. La cantidad de porcentaje de agua añadida es una función de la harina de tamaño de partícula, el contenido de gluten, de almidón (intacto y dañado) y el contenido de dextrina o de celulosa (Naega, 2008). Esto refleja la gran cantidad de agua (en el sentido ideal), necesario para el desarrollo de productos. (Camelo, 2007).

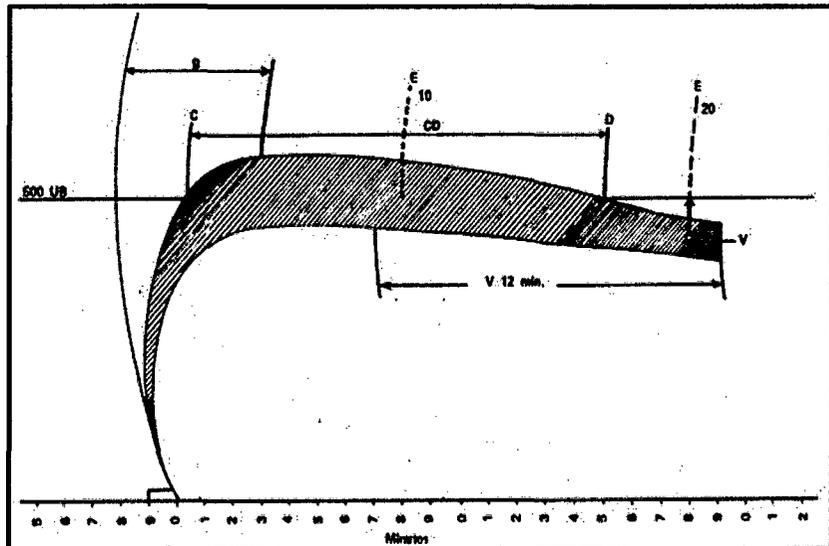


Figura 7: Farinograma. A) Absorción de agua, B) Desarrollo de la masa, C) Tiempo de llegada, CD) Estabilidad, MTI) Índice de tolerancia al mezclado

Fuente: COCA, 1991.

Tabla 15: Parámetros farinográficos de harinas con diferentes fuerzas

Harina	ABS(min)	TDM (min)	E (min)	TIM(UF)
Frágil	<55	<2.5	<3	>100
Media	54-60	2.5-4.0	3-8	60-100
Fuerte	>58	8-15	8-15	8-50
Muy Fuerte	>58	>10	>15	>10

Fuente: Pizzinato (1999).

Tabla 16: Parámetros farinográficos para diferentes productos de panificación y pastelería

Parámetros	Masa	Panes	Queques	Galletas fermentadas	Bizcochos dulces
Absorción de agua (%)	60-64	>15	-	<55	<55
Desarrollo (min)	8-13	4-9	1-2	3-6	1-3
Estabilidad (min)	>15	12-18	2-4	6-12	2-4

Fuente: Nitzke (2008)

2.3.9.3 Extensografía

La extensografía es un método, complementario a la farinografía, para medir la extensibilidad y resistencia de una harina. El extensógrafo es un instrumento que genera una curva de fuerza con relación al tiempo para una pieza de masa que se estira hasta que se rompe. Los resultados incluyen lo siguiente:

- A. Resistencia:** medida del pico máximo de la curva en unidades de Brabender (UB) que refleja la fuerza máxima aplicada y la resistencia a la extensión de la masa.
- B. Capacidad de extensión:** medida en centímetros de la longitud total de la curva desde la línea inicial que refleja la longitud de la masa estirada.
- C. Área:** medida del área debajo de la curva que se indica en centímetros cuadrados.

Estos factores ayudan a describir las características de la dureza del gluten y la capacidad de extensión de la masa para una amplia variedad de productos finales. El extensógrafo también puede evaluar los efectos del tiempo de fermentación y los aditivos en el rendimiento de la masa. (Camelo, 2007).

Tabla 17: Parámetros del extensograma para las diferentes harinas según su uso

Parámetro	Masa	Panes	Queque	Galletas fermentadas	Galletas
Resistencia al estiramiento (R) (U.E)	300-500	250-350	150-200	200-250	150-200
Extensibilidad (cm)	120-160	140-180	120-160	160-200	120-160
Energía (cm ²)	>150	130-180	<100	100-150	<100

Fuente: Nitzke, (2008)

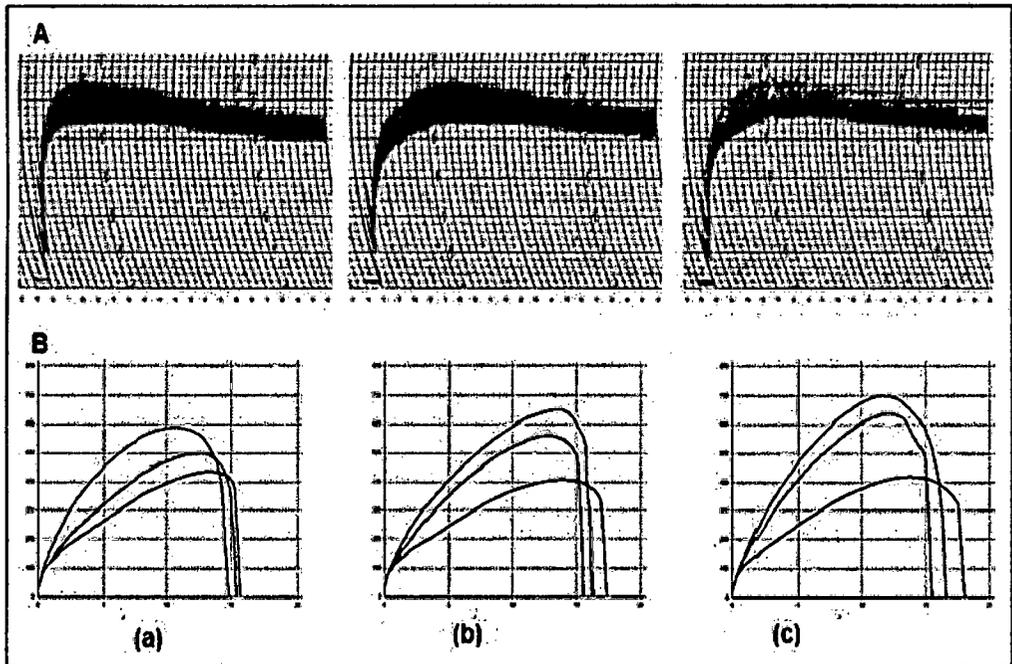


Figura 8: Propiedades físicas de la masa

A) Farinografía; B) Extensografía. (a) Proteína baja, (b) Proteína media, (c) Proteína alta

2.4 El pan

El pan, en sus múltiples formas, es uno de los alimentos más ampliamente consumidos por la humanidad. El pan está compuesto básicamente por: harina de trigo, agua, fermento biológico y sal (cloruro de sodio). Mientras tanto, otros componentes son adicionados en pequeñas cantidades para mejorar las características de la masa durante el procesamiento y del producto final. Estos componentes son: grasas vegetales, azúcares, emulsificantes, agentes oxidantes y enzimas. (Stanley, 2002).

El pan es fuente esencial de cereales, carbohidratos, siendo por tanto elemento proveedor de energía de rápida metabolización. La evolución tecnológica del pan se debe fundamentalmente a su gran consumo. Por ser parte de la dieta habitual de la población, el desarrollo de nuevos productos de panificación con características especiales podría ser

aceptado por el consumidor. En cuanto a este producto es bajo en grasas es buena fuente de carbohidratos, ello generalmente no es buena fuente de fibra alimentaria, en particular fibra soluble. Con sus bajos índices de fibra, el pan es considerado un alimento de alto índice glicémico. (Jenkins et al., 1985; Knuckles et al., 1997; Caballero et al., 2002, citados por Moraes, 2009)

De acuerdo a los datos estadísticos reportados por (INEI, 2009), El peruano consume alrededor de 24 kg de pan al año.

2.4.1 Definición de pan de molde

La Norma legal 206.004:1988-INDECOPI, define al pan de molde, tanto blanco como integral, como aquel que tiene una ligera corteza blanda y que para su cocción ha sido introducido en molde. Se comercializa envasado en bolsas de polipropileno de baja densidad. Suele conservarse mucho más tiempo tierno en comparación al resto de panes. (Kent, 1994).

Tabla 18: Criterios Fisicoquímicos

PRODUCTO	PARÁMETRO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Pan de molde (blanco, integral y sus productos tostados)	Humedad	40% pan de molde/ 6% pan tostado
	Acidez(expresada en ácido sulfúrico	0.5 % (base seca)
	Cenizas	4.0 % (base seca)

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

Tabla 19: Composición fisicoquímica del pan de molde por 100g de porción comestible

Componentes	Pan de molde
Energía (kcal)	317
Energía (kJ)	1326
Agua (g)	20.8
Proteínas (g)	6.80
Grasa total (g)	2.5
Carbohidratos totales (g)	69.2
Carbohidratos disponibles (g)	66.8
Fibra cruda (g)	•
Fibra dietaria (g)	2.4
Cenizas (g)	0.7
Calcio (mg)	13
Fósforo (mg)	60
Zinc (mg)	0.74
Hierro (mg)	0.40
β caroteno equivalentes totales (µg)	•
Retinol (µg)	•
Vitamina A equivalentes totales (µg)	0.0
Tiamina (mg)	0.08
Riboflavina (mg)	0.16
Niacina (mg)	1.22
Vitamina C (mg)	0.00
Ácido ascórbico total	•

La versión actual de las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos contiene celdas con el siguiente tipo de información:

- Cero (0,00 - 0,0), cuando el nutriente no se encuentra presente en el alimento o está en cantidades trazas.
- Cuando no se ha reportado el dato, se coloca la viñeta “•”.

Fuente: Tablas peruanas de composición de alimentos, (2009).

2.4.2 Materias Primas E Insumos

De manera general, los ingredientes complementarios mejoran los aspectos de blandura y textura de los productos, aumentan la vida útil, alteran el sabor y o el valor nutricional.

2.4.2.1 Agua

El agua es un ingrediente imprescindible en la formación de la masa. Las cantidades de agua absorbida dependen de la calidad de la harina de trigo. (Pavanelli, 2000).

Entre las diversas funciones que el agua desempeña en el proceso de panificación, podemos citar todavía:

- Formación de la masa, el agua es el vehículo de transporte para que los ingredientes al mezclarse forme la masa. También hidrata el almidón que junto a las proteínas de la harina de trigo hacen posible la fabricación de la red de gluten, asimismo dan como resultado una masa plástica, suave y elástica.
- Hidrata las amidas convirtiéndolos en digestibles, determina la consistencia final de la masa, conduce y controla la temperatura de la masa, hace posible las acciones de las enzimas, permite la acción del fermento, evita la formación de corteza en la masa, posibilita mayor desenvolvimiento de los panes en el horno.
- Actúa también como solvente y plastificante y permite que, durante el proceso de cocción del pan, ocurra el fenómeno de gelatinización del almidón. El agua es absorbida por proteínas, gránulos de almidón íntegros y pentosas presentes en la harina.

- Efecto en el sabor y la frescura, el agua hace posible la porosidad y el buen sabor del pan. (Pavanelli, 2000).

2.4.2.2 Sal

La sal es indispensable en cualquier formulación de pan. La sal ejerce algunas funciones, tales como:

- Controlar la fermentación, por ser altamente higroscópico, la presencia de sal en la masa hace que el agua salga del interior de la célula de fermento y pase para la masa, disminuyendo su capacidad de producir gas, ayudando de esa forma a controlar la fermentación.
- Fortificar el gluten de las harinas ya que la gliadina, uno de sus componentes, tiene mayor solubilidad en agua con sal, lo que proporciona una mayor formación del gluten.
- Acción bactericida, e importante en la hidratación de las masas
- Actúa como realzador de sabores.
- La sal tiene un efecto sobre el volumen del pan, aumentando la extensibilidad de la red del gluten, y sobre la estructura del núcleo, convirtiéndola en más fina y homogénea (Pavanelli, 2000).

2.4.2.3 Azúcar

Compuesto químico formado por C, H, O. En panificación se utiliza la sacarosa obtenida de la caña de azúcar. Funciones:

- El azúcar es el substrato para la fermentación. El azúcar añadido es rápidamente consumido por la levadura, mientras tanto las enzimas convierten el azúcar complejo en mono y disacáridos

los cuales pueden ser consumidos por la levadura, de esta manera tiene una fermentación más uniforme.

- Colorante del pan, el color café característico proviene de la reacciones con aminoácidos (reacción de Maillard) y de caramelización, responsables de la coloración y sabor característicos al final de la cocción.
- 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.
- Por ser higroscópico, el azúcar retiene humedad en la masa del pan, aumentando así, la blandura del núcleo y mejorando sus características de conservación en el retardamiento del proceso de envejecimiento del pan.
- Este además actúa como potenciador nutritivo y de sabor, debido al gran desarrollo de los ácidos volátiles y aldehídos. (Nunes et al., 2006).

2.4.2.4 Fermento

Cuando se habla de fermento biológico, se refiere a una levadura seleccionada, denominada *saccharomices cereviciae*. El papel principal del fermento es hacer una conversión de azúcares fermentables presentes en la masa en gas carbónico y etanol. Adicionalmente de producir CO₂, que es el gas responsable para el crecimiento del pan, el fermento también ejerce la influencia sobre las propiedades reológicas de la masa, tornándose más elástica y porosa (Nunes et al., 2006).

La acción de las levaduras pueden resumirse en:

Ázucar simple → *Etanol* + *Dióxido de carbono*

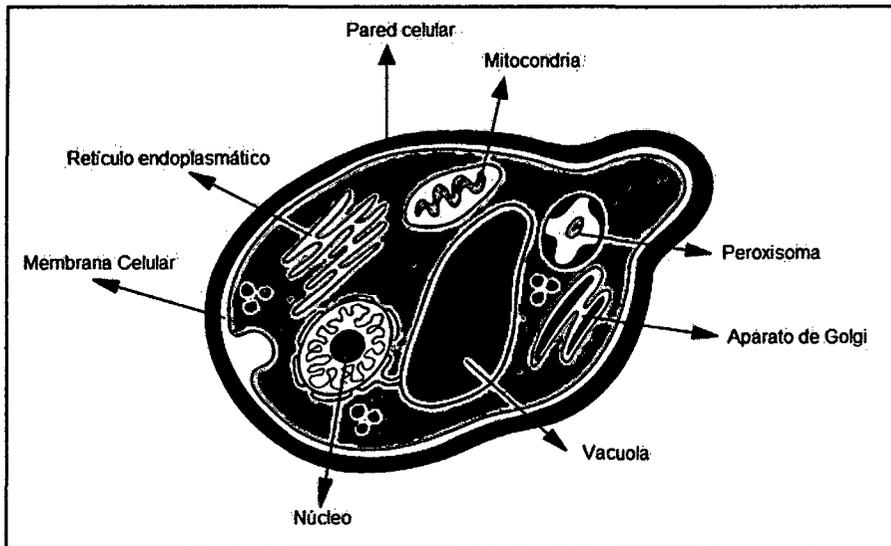
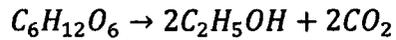


Figura 9: La célula de levadura

Fuente: Quezada (2007).

2.4.2.5 Grasas

Las grasas son uno de los insumos que con mayor frecuencia se emplean en la industria pastelera y panadera en la fabricación de productos de horneado. Las grasas ejercen en las masas una acción que no es química, más física.

Funciones:

- Ayudan en la incorporación y retención de gases producidos durante la fermentación. (EL-DASH, 1978).
- Modifican las propiedades de comestibilidad del pan y de otros productos de fermentación, consiguen que la masticación sea más corta y no tan enérgica y, al mismo tiempo, logran una

mejora de la vida útil del producto en términos de textura. (Stanley, 2002).

- Las grasas exponen la capacidad de posicionarse entre las capas de gluten, facilitando el deslizamiento entre esas capas, lo que resulta la mayor extensibilidad de las masas. En virtud de esta acción, las grasas proporcionan panes con mayores volúmenes en relación a los panes producidos sin grasa (Pavanelli, 2000). Cantidades mayores al 3% podrían resultar perjudiciales, pues dificultan la hidratación y el desarrollo del gluten, provocan una pérdida del volumen y afectan negativamente la textura y sabor. (Germani, 2003).

2.4.2.6 Emulsionantes

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. Hay una relación directa bastante clara entre la cantidad añadida y la mejora en la retención del gas hasta un punto óptimo.

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. (Stanley, 2002).

2.4.2.7 Mejoradores De Harina

Los agentes antioxidantes actúan directamente sobre la estructura de las proteínas del gluten, reforzando la red de gluten a través de la formación de ligaciones disulfídicas. Estas ligaciones formadas afectan la reología de la masa, aumentando la resistencia a la extensión y disminuyendo la extensibilidad. Como consecuencia directa de la acción reforzadora de los oxidantes sobre el gluten, la capacidad de retención de gases es aumentada, lo que resulta panes con mayor volumen. Los agentes oxidantes también aumentan el "oven-rise", que es un aumento rápido del volumen que ocurre en los primeros minutos después de que la masa entra al horno. (Pavanelli, 2000).

2.4.2.8 Enzimas

Las enzimas son catalizadores biológicos. Las enzimas más comúnmente utilizadas en panificación son las amilasas. (Nunes et al., 2006).

A. La α -amilasa

Las α -amilasa son una serie de enzimas que catalizan, todas ellas, la misma reacción básica, la escisión de las moléculas hidratadas de almidón, es decir, de la amilosa, la amilopectina no ramificada y los polímeros de cadena larga y ramificada de

maltosa, generándose moléculas de cadena corta no ramificadas conocidas como dextrinas. Actúan en combinación con la β -amilasa, una enzima que ataca a las partes distales de las cadenas de amilosa y amilopectina, liberando moléculas de maltosa, consiguiendo, si se les da suficiente tiempo y las mantenemos en unas condiciones adecuadas, convertir prácticamente todo el almidón en maltosa. Cada vez que la α -amilasa es la que determina la velocidad de reacción de las enzimas del sistema. (Stanley, 2002).

La mayor parte de las harinas de trigo contienen una cantidad suficiente de β -amilasa pero, por regla general, unas cantidades escasas de α -amilasa natural (del cereal), por lo que cada vez resulta más frecuente ajustar la concentración de α -amilasa mediante la adición de materias primas apropiadas. (Stanley, 2002).

2.4.3 Proceso de elaboración del pan de molde

Existen diversos procesos de producción de pan. Todos ellos tienen la mayoría de etapas en común y se diferencian principalmente en el número de etapas de fermentación y la duración de las mismas.

Por ejemplo, para la fabricación de pan de molde hay dos procesos de producción empleados de forma mayoritaria: el proceso Chorleywood y el proceso esponja-masa. El primero tiene una etapa de fermentación, la fermentación en el molde, mientras que el segundo, dos, la fermentación de la esponja y la fermentación en el molde. El resto de

etapas del proceso son comunes en ambos. A continuación se presenta un esquema del proceso Chorleywood de fabricación de pan de molde y se describen las principales etapas del proceso.

2.4.3.1 Amasado

La etapa de amasado es especialmente importante para la calidad del producto final. Un amasado óptimo dará lugar a piezas con gran volumen, tiernas, con un grano sedoso y suave y buenas cualidades de conservación. Si no llegamos a ello será difícil las etapas posteriores del proceso corregir las diferencias en el producto. Las principales funciones del amasado son: homogenizar los ingredientes, desarrollar la masa y ocluir el aire.

Finalizado el amasado, la masa se divide en porciones (etapa de división). El peso de cada porción de masa determinara el peso del producto final. Después de la división la masa se bolea y se deja reposar. A esta etapa de reposo se denomina reposo o fermentación intermedia, en el que aumenta el tamaño de los alveolos de gas y la masa se relaja. La fermentación intermedia suele variar entre 5 y 15 minutos. Finalizado la fermentación intermedia se procede al modelado de la masa, etapa en la que se define la forma básica del producto final. Esta etapa normalmente consta de laminado y formación del camote.

Al laminar la masa, los alveolos presentes al final de la fermentación intermedia se dividen en varios alveolos más pequeños por lo que incrementa su número en el seno de la masa. Con la masa laminada

se forma un camote (porción de masa normalmente cilíndrica) que se introduce dentro del molde donde se deja fermentar.

2.4.3.2 Fermentación

En la fermentación en el molde se coloca la masa en un ambiente de temperatura y humedad controladas, alrededor de los 40°C y 80 % de humedad respectivamente. En esta etapa la levadura fermenta la masa produciendo el gas que expandirá la pieza y se modifican las propiedades reológicas de la masa. (Boatella et al, 2004)

2.4.3.3 Horneado

Finalizada la fermentación, la masa se hornea. La cocción del pan difiere de las operaciones anteriores en que la masa se sitúa en un ambiente alrededor de los 220°C.

Durante el horneado tienen lugar una serie de cambios que determinan las características de la miga del pan:

- Impulso en el horno: al introducir la masa fermentando en el horno, la levadura continúa produciendo CO₂ hasta que se inactiva a temperaturas superiores a los 50°C. Parte del agua de la masa se evapora. EL CO₂ y el etanol disueltos en la fase líquida de la masa también se evaporan. Finalmente, todos los gases en los alveolos se expanden como resultado del incremento de temperatura. La masa se expande hasta que se forma la corteza, alcanzando el máximo volumen en los primeros 6-8 min, Dependiendo del tamaño de la pieza, el

volumen relativo de la masa aumenta entre 4-5 a entre 5-7 veces.

- La masa, predominantemente líquida se transforma en miga o corteza, predominantemente elástica. Mientras la temperatura de la masa aumenta, la viscosidad de la misma disminuye hasta alcanzar los 60°C. Cuando la temperatura de la masa supera los 60°C, la viscosidad de la masa aumenta de forma marcada debido al proceso de gelatinización del almidón. También tiene lugar una desnaturalización de la estructura proteica del gluten que contribuye al aumento de la viscosidad del sistema. El sistema se transforma de predominantemente viscoso a predominantemente elástico o sólido en la corteza del pan.
- En la etapa final de horneado disminuye la velocidad de evaporación de agua de la superficie y su temperatura aumenta. Se forma la corteza y esta adquiere color: tienen lugar la caramelización de los azúcares presentes en la masa y la reacción de estos con las sustancias nitrogenadas presentes (reacción Maillard). (Boatella et al, 2004)

2.4.3.4 Enfriado

Tras la etapa de horneado y después de separar los moldes de los panes, estos se encuentran con una distribución de humedad y temperatura homogénea: la temperatura de la corteza es superior a los 100°C y la humedad es baja (alrededor del 14%) mientras que en el interior de la miga, la temperatura ronda los 98°C y la humedad superior al 36%. Con las propiedades físicas de los panes al salir de

horno es imposible manipularlos mecánicamente y deben enfriarse. El proceso de enfriado se realiza manteniendo los panes a temperatura ambiente durante aproximadamente 60 minutos.

Tras el enfriamiento el pan se rebana y se embolsa, normalmente en bolsas de plástico y está listo para ser distribuido. (Boatella et al, 2004)

2.4.4 Estimación De La Calidad Del Pan

La determinación de la calidad del pan descansa en gran parte en juicios subjetivos de expertos debido a dificultades asociadas a la medida objetiva de las características del pan, que son tremendamente personales. Los ejemplos más evidentes de los problemas asociados a la estimación de la calidad son los atributos relativos al sabor, al aroma y a la palatabilidad debido a las distintas preferencias individuales de los consumidores. (Stanley, 2002)

Habitualmente, se utilizan diversas técnicas de puntuación para tratar de normalizar los juicios subjetivos por ejemplo Kulp (1991). La adjudicación de cifras particulares se basa en requerimientos individuales. Se usan, con frecuencia, puntuaciones del atributo que se está analizando para que el observador pueda comparar y se mejora la uniformidad de la puntuación. (Stanley, 2002)

Los métodos para estimar la calidad del pan van dirigidos normalmente a definir tres amplias categorías: la calidad interna, calidad externa y calidad asociada a la textura y palatabilidad, en las que se incluyen el sabor y el aroma. (Stanley, 2002).

2.4.4.1 Características externas y atributos sensoriales

La apariencia externa del producto es, con frecuencia, un factor atractivo para el consumidor. Entre las características que con más frecuencia se estiman bajo encabezamiento son las dimensiones, el volumen, la apariencia, el color y la formación de la corteza.

A. El volumen

Su importancia está relacionada en la calidad del producto, una vez que es afectado por varios factores ligados a la calidad de los ingredientes usados en la formulación de la masa, especialmente la harina. Un volumen excesivamente grande no sería un factor negativo en esta evaluación, mas, usualmente, corresponde a un pan de textura débil y una granulosis gruesa, características que no son aceptadas en un pan de buena calidad (EL-DASH et al., 1982). Un volumen muy pequeño puede deberse a un gluten débil o una fermentación impropia, no ocurriendo un adecuado desenvolvimiento de la red de gluten.

El método más normal para determinar el volumen total del producto es mediante el uso de alguna técnica apropiada de desplazamiento de semillas. El equipo normalmente comprende un contenedor de volumen conocido, que previamente se ha calibrado con una semilla adecuada, normalmente semilla de cebada (Conford, 1969 citado por Stanley, 2002), en el que el producto se introduce y, después,

se rellena con las semillas desplazando un volumen de las mismas igual a la pieza.

B. Color de la corteza

El color de la corteza es una característica de la calidad que interfiere en la aceptabilidad de los panes y está directamente relacionada con la cantidad de azúcar, enzimas y también por las condiciones de procesamiento como el tiempo de fermentación, la temperatura y la temperatura de cocción. El color de la corteza es el resultado de la reacción no enzimática entre los azúcares reductores y sus grupos aminos primarios durante la cocción, y es inducida por la presencia de iones de hidrógeno durante el proceso de fermentación (EL-DASH, 1990). Una corteza debe ser brillante y lo más homogénea posible con una coloración dorada intensa en la parte superior y dorada pálida en los laterales. (Pyle, 1988).

El color de la corteza se estima comúnmente mediante técnicas descriptivas. Pueden utilizarse métodos objetivos basados en comparaciones con cartas de colores normalizados, o directamente con colorímetros triestímulos (Anderson, 1995 citado por Stanley, 2002) pero normalmente el color de la corteza del pan es irregular, lo que reduce la eficacia de los instrumentos. (Stanley, 2002)

C. Ruptura

Durante la cocción en el horno, los gases y el vapor de agua desarrollados dentro de la masa provocan crecimiento

repentino lo que resulta la abertura de las partes laterales de la masa, llamada ruptura, que es deseable porque contribuye a la apariencia del pan.

Esta ruptura ocurre durante los primeros siete minutos en el horno y es el momento en el que el pan realmente alcanza su volumen definitivo. Una ruptura pequeña puede deberse a una fermentación impropia e insuficiente.

D. Simetría

La simetría de un pan es un atributo de apariencia y depende de las técnicas empleadas en el manejo y moldeado de la masa, adicionalmente las condiciones ideales de formulación y procesamiento. Si una masa es muy dura (bajo contenido de agua), con mezclado y fermentación inadecuadas, actividad diastáticas o manipulación gruesa, probablemente tendrá los laterales encogido y los extremos pequeñas. Defectos de simetría incluyen dimensiones muy largas, muy estrechas o achatadas, que pueden ser un indicativo de gluten débil.

E. Características de la corteza

La apariencia de la capa de la corteza es importante para la calidad del pan. La corteza ideal debe ser fina y no dura o gomoso, la presencia de burbujas o corteza gruesa o dura evidencian problemas que pueden estar relacionados con la harina empleada, cantidad de azúcar, tiempo y humedad de fermentación, humedad, tiempo y temperatura de horneado, entre otros. (Fernández, 2006).

Una corteza es atribuida las cantidades insuficientes de azúcar o enzimas amilasas, baja humedad durante la fermentación y baja temperatura de horno. Poca grasa puede ser la causante de una corteza dura, gomosa. (EL DASH et al., 1982).

2.4.4.2 Atributos de apariencia

Este atributo es apreciado mediante la vista: se visualiza el color de la miga, el color de la corteza, el número de alveolos, su forma y regularidad.

Los panes elaborados con harina de trigo poseen un color de miga que va de blanco crema al marrón claro, en función de la tasa de extracción de la harina.

La apreciación de la miga al tacto o en la boca está influenciada por el tamaño y la estructura de los alveolos: cuando son finos, con paredes delgadas y uniformes en tamaño, la textura es más suave y más elástica que cuando son grandes, irregulares en tamaño y con paredes más gruesas. (Delgado, 2013).

A. Atributos de olor

El olor del pan es otro de los factores importantes en la aceptación del consumidor. El aroma final se produce por la actividad enzimática durante el amasado, por el metabolismo de las levaduras y las bacterias lácticas durante la fermentación de la masa panadera, las reacciones de oxidación de los lípidos y las reacciones térmicas durante la cocción, principalmente reacciones de Maillard y de caramelización.

La fermentación de la masa produce elementos aromáticos principalmente en la miga, mientras que el proceso de cocción interviene primordialmente en el olor de la corteza. (Delgado, 2013).

B. Atributos de textura

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. La corta longevidad del pan y la pérdida de frescura de la miga están asociadas al incremento de firmeza y pérdida de elasticidad. (Stanley, 2002)

La textura de la miga del pan está relacionada con la cantidad de agua añadida a la masa y con el uso de harinas especiales en el proceso de panificación, pero los factores más determinantes son la cantidad u la calidad de la proteína. (Delgado, 2013)

C. Atributos de flavor

La evaluación del sabor y aroma en los productos de panadería descansa enteramente en estimaciones subjetivas de catadores (Stones y Sidel, 1985 citados por Stanley, 2002)

El flavor se define como el conjunto de impresiones de un alimento apreciada tanto por las percepciones olfatorias causadas por las sustancias volátiles recibidas en la cavidad nasal, como por las percepciones causadas por las sustancias solubles percibidas en la boca como sabores básicos, como los

factores sensoriales químicos(astringencia, picos, calor, frio) que estimulan terminales nerviosas. Además de atributos tales como dulce, acido, salado, amargo, mantequilla, etcétera, existen otros factores como el microorganismo utilizado para la fermentación, el contenido en cenizas de la harina(relacionado con la tasa de extracción) o la temperatura de fermentación, que influyen también sobre el favor del pan. (Delgado, 2013).

III. MATERIALES Y METODOS

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 Agroindustrial—Universidad Nacional del Santa.

3.2 Materia prima e insumos

3.2.1 Harina de trigo

Se utilizó 20 kg. De harina pastelera, marca Nicolini. Lote N°085 0020, adquirido en el D'GOBA E.I.R.L (Nuevo Chimbote).

3.2.2 Sacha Inchi

Se adquirió 50 kg. de Sacha Inchi proveniente del fundo familia Kasay, Carretera Iberia Km 39 Interoceánica Sur. Puerto Maldonado-Madre De Dios.

3.2.3 Insumos

Para la elaboración de pan de molde, se utilizó los siguientes insumos:

- Azúcar rubia, marca San Jacinto
- Manteca Vegetal, marca Grano de oro
- Sal yodada refinada, marca Emsal.
- Mejorador, marca Fleishman.
- Emulsificantes, marca Fleishman.
- Levadura seca instantánea, marca Fleishman
- Antimoho, marca Fleishman

3.3 Equipos, materiales y reactivos

3.3.1 Equipos

- Amasadora. Marca Nova. Modelo K23. Perú
- Cámara de fermentación. Marca Nova. Modelo MAX. Perú
- Horno rotatorio por convección. Marca Nova. Modelo MAX1000. Perú
- Rebanadora de pan. Marca Nova. Modelo Estándar. Perú

3.3.2 Utensilios

- Espátula
- Carros para horno
- Rodillos
- Azafatas de aluminio
- Mesa de acero inoxidable: 2.5m x 1.0mx1.5 m
- Moldes de pan: Largo x ancho x altura: 29.4cmx 10.5cmx 9.9cm

3.4 Para la evaluación tecnológica del pan de molde

3.4.1 Equipos

- Amylograph-E, BRABENDER. Modelo: 800250. Serie: 1925888. Alemania.
- Balanza Analítica, PRECISA GRAVIMETRICS A G., Serie: 321 LX. Modelo: LX320A. Desviación: 0.001g. Suiza.
- Balanza Gramera, PRECISA. Modelo: XB4200C. Desviación 0.01g. Suiza.
- Colorímetro, KONIKA MINOLTA. Modelo: CR-400. EE.UU.
- Cromatógrafo de Gases SHIMADZU modelo 2010: con detector de ionización de flama (GC-FID), equipado con columna capilar de sílice fundida PAG, de carácter multipolar, con las siguientes dimensiones: (Stabilwax 100 m de largo x 0.25 mm de diámetro interno x 0.2 um de espesor del film). Fue usado como fase móvil gas helio, hidrogeno y aire sintético, todos ellos con alto grado de pureza (99.999%), grado cromatográfico.
- Equipo medidor de Actividad de agua, marca ROTRONIC. Modelo: Hydrolab2.Peru.
- Estufa, marca POL-EKO APARATURA, modelo SW-17TC. Serie SW-1990.EE.UU.
- Extensograph – E. BRABENDER. Modelo: 860723. Serie: 1925035. Alemania.
- Equipo de Baño Maria, modelo N°:18007 A-1CE, marca Aqua Bath.

- Extrusor. Marca JARCON. Perú.
- Farinograph – AT, BRABENDER. Modelo: 810161.001. Serie: 1925864. Alemania.
- Módulo de Molienda y tamizado. Marca: TORRH. Modelo: MDMT-60XL. Serie JP0011112. 2012 Perú.
- Mufla. Marca: THERMOLYNE. Serie: 34703484. Alemania.
- Prensa de aceite EXPELLER. Marca TORRH. Modelo PAT 100X. Serie JP 001 11. 2012. Perú.
- Secador de bandejas. Marca TORRH. Modelo SBT-10X10. Serie JP 001 01 13. 2013. Perú.
- Secador de bandejas. Marca: BOSH. Modelo: KSV44. Serie: 0200148448. Suiza.
- Selladora, marca: TEW. Modelo: TISH-200. Serie: E82163. Taiwan.
- Soxhlet. Marca: FOSS. Modelo: 207-MCSX. Serie: 20460047. China.
- Texturometro. Marca: BROOKFIELD. Modelo: CT34500. Serie : 8555940. EE.UU.
- Material para prueba sensorial: cabinas de degustación, formatos, lapicero, platos descartables y marcador.

3.4.2 Reactivos

- NaOH, lentejas, para análisis, ACS, ISO, pHEur, Sharlai SO 0425.
- NaCl, para análisis, ACS, ISO, pHEur, Sharlau SO 2007.

- 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.

3.4.3 Materiales de vidrio y otros

- Fiolas de 50 y 100 ml
- Probeta de 50 ml
- Pipetas graduadas de 1,2 y 5 ml
- Viales con tapa 2ml
- Pipetas pasteur
- Vasos precipitados
- Tubos tapa rosca
- Pera succionadora
- Gradilla
- Crisoles de porcelana
- Desecador

3.5 Procedimiento experimental de la investigación

En la figura 10 se muestra el esquema experimental que se siguió en este trabajo de investigación. Se realizaron las caracterizaciones físico-químicas de la torta desgrasada extruida de sachá inchi, y harina de trigo. Un diseño de mezclas del paquete estadístico Desing Expert v.9.0 determinó un total de siete formulaciones, cuyos niveles bajo y alto de sustitución estipulados eran 0% y 25% respectivamente. (Tabla 21). El nivel de 0% en el pan de molde fue considerado pan control.

Se realizaron los análisis reológicos correspondientes a las mezclas de harinas de las siete formulaciones, con la finalidad de evaluar sus propiedades y su comportamiento en la elaboración del pan.

Fueron realizadas determinaciones por triplicado de los contenidos de humedad, grasas, cenizas, proteínas, fibra y carbohidratos totales, éste último obtenido por diferencia total en las muestras de pan de las siete formulaciones. Asimismo, se calculó la energía metabolizable (valor calórico) promedio en cada de las muestras de pan. Fueron realizados también en las muestras de pan, los análisis físicos de textura, color y volumen específico.

Se llevaron a cabo las evaluaciones sensoriales de las muestras de pan a cargo de un panel semi-entrenado. Finalmente se realizó el análisis del perfil lipídico a la muestra de pan con la mayor aceptación, con la finalidad de determinar la cantidad de omegas 3 y 6 retenidos después del tratamiento térmico.

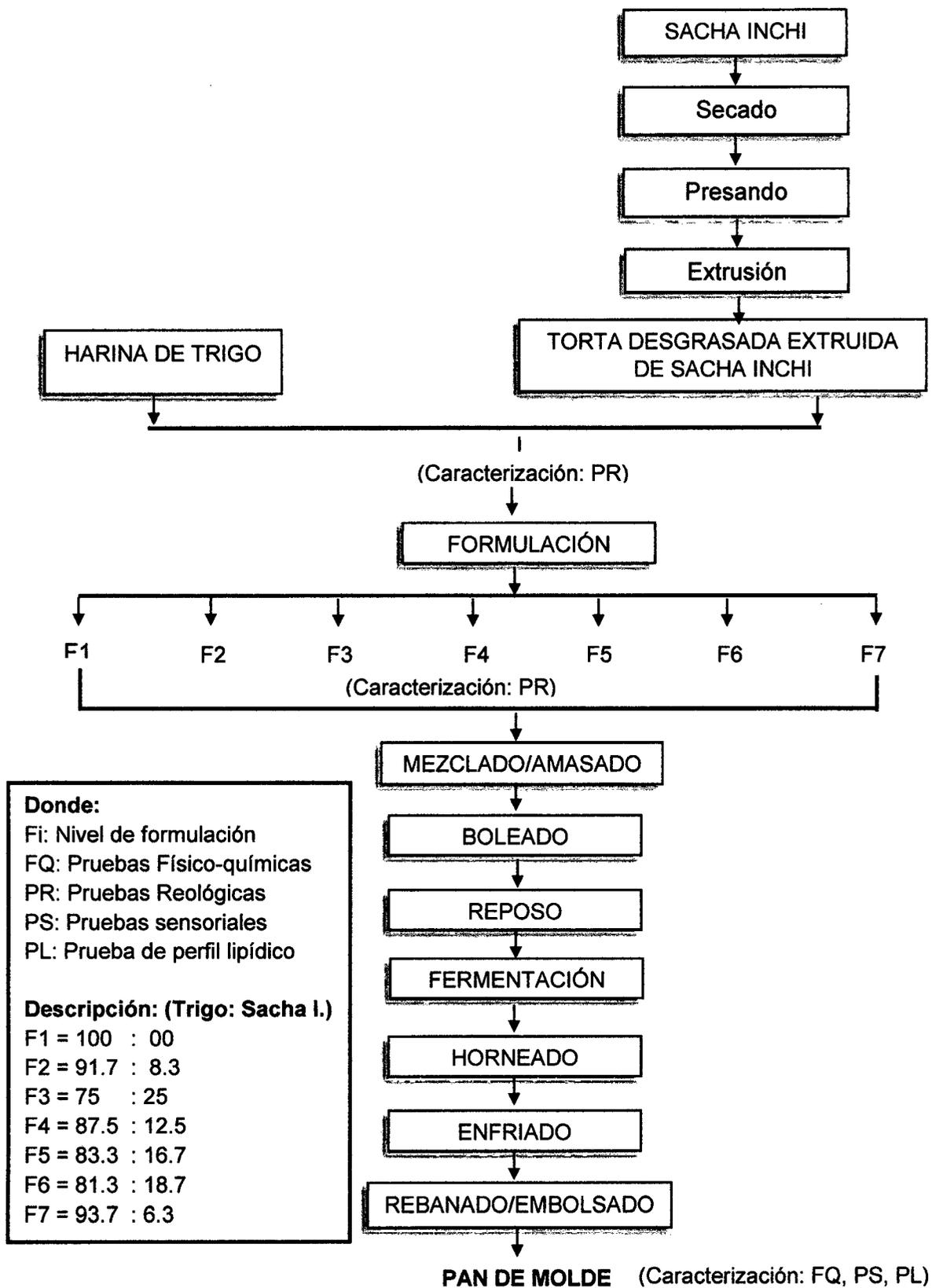


Figura 10: Esquema experimental para la elaboración de pan de molde enriquecido con torta desgrasada extruida de Sacha inchi

3.6 Obtención de la torta desgrasada extruida de Sacha inchi

La torta desgrasada extruida de sachá inchi fue hecha a nivel de planta piloto de acuerdo al procedimiento señalado por Encomenderos D. (2003), el cual consta de las siguientes operaciones:

- a) Clasificación y limpieza: las semillas de sachá inchi pasaron por una selección visual para la separación de semillas en condiciones inadecuadas para el proceso, como secas, y dañadas por insectos u hongos, asimismo se retiró las impurezas presentes como piedras, metales, etc.
- b) Secado: Las semillas de sachá inchi fueron trituradas con la finalidad de aumentar el área superficial y facilitar la operación de secado, el cual se realizó a 50°C por 1.5 horas en un secador de bandejas de marca JARCON. Alcanzando una humedad inferior de 5%.
- c) Prensado: Se realizó un doble prensado con el uso de un expeller de marca JARCON a una velocidad de 35 rpm y a una temperatura de 70°C.
- d) Extrusión: La torta desgrasada de sachá inchi se extruyó con el uso de un extrusor de tornillo simple de 8mm de diámetro de boquilla. Se adicionó 20% de humedad y la temperatura alcanzó los 120°C y 140PSI.
- e) Secado: El secado se realizó en un secador de bandejas de marca JARCON por 2.5 horas a una temperatura de 50°C con velocidad de flujo 0.27m³/s hasta alcanzar una humedad de 12%.

- f) Molienda y Tamizado: Gracias a esta operación se uniformizó las partículas de la torta. Después del secado, la torta desgrasada extruida de sachá inchi obtenida fue molida en el módulo de molienda y tamizado de marca JARCON; con número de criba 1/8 pasando por un tamiz con abertura de 1mm, obteniendo con esto una granulometría homogénea.

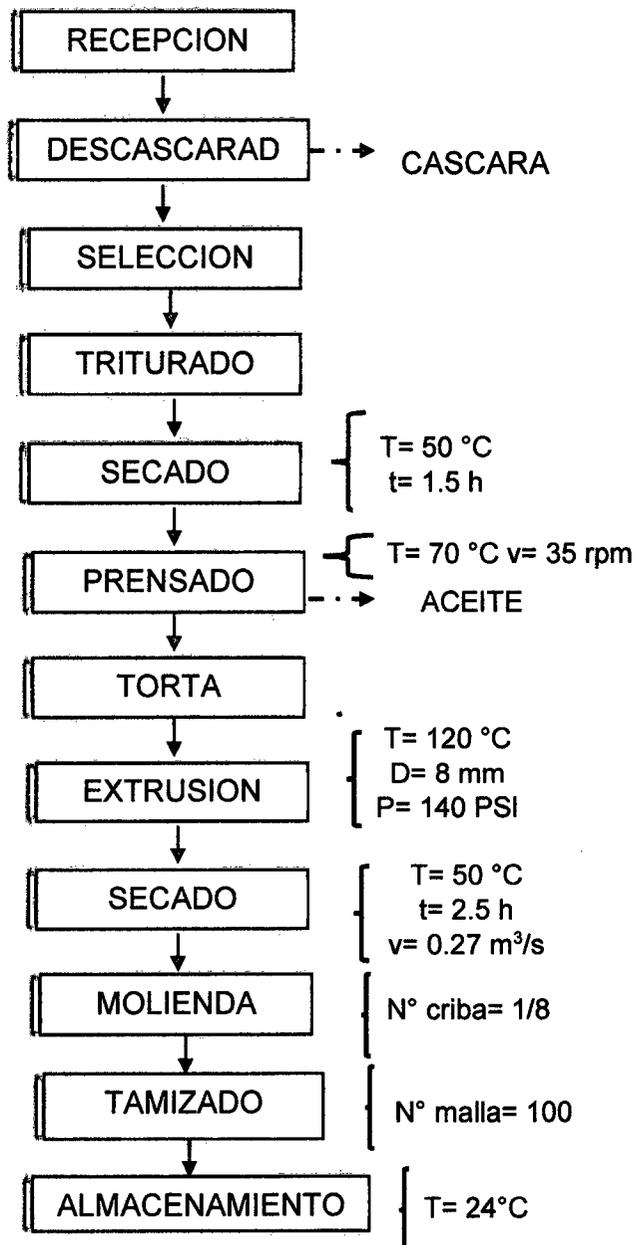


Figura 11: Diagrama de flujo para la obtención de la torta desgrasada extruida de Sachá Inchi

3.7 Caracterización de las harinas de trigo y torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

La caracterización se realizó individualmente a la harina de trigo y torta desgrasada extruida de sacha inchi y a las formulaciones de los panes. Los análisis se realizaron en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa. Se realizaron los siguientes análisis:

3.7.1 Humedad: Se determinó según la N.T.P.205.037:1975 (revisada el 2011): harinas. Determinación de humedad.

3.7.2 Proteína: La determinación de la proteína fueron realizadas en los laboratorios COLECBI S.A.C según el método UNE-EN ISO 5983-2 parte.2.Dic.2006. Determinación de proteínas totales (Metodo Kjeldahl), utilizando el factor 6.25 como factor para la mayoría de cereales y 5.70 como factor para el trigo.

3.7.3 Grasa: La determinación de las grasas fueron realizadas en los laboratorios COLECBI S.A.C según el método UNE 64021 1971, método Soxhlet.

3.7.4 Ceniza: se realizó por incineración de la materia orgánica en una mufla, siguiendo la metodología por la N.T.P. 205.038.1975 (Revisada el 2011): harinas determinación de cenizas.

3.7.5 Fibra: Las determinaciones de fibra fueron realizadas en los laboratorios COLECBI S.A.C según el método NMX-F-090-1978. El cual se basa en la digestión acida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda.

3.7.6 Carbohidratos: La determinación de carbohidratos fue realizada por diferencia, esto es, una fracción de carbohidratos corresponde a 100 menos la sumatoria de las fracciones de proteínas, grasas, cenizas, fibra, y humedad.

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

3.7.7 Actividad de agua: Se utilizó el equipo de actividad de agua de marca ROTRONIC.

3.7.8 Análisis reológico de las formulaciones

3.7.8.1 Análisis amilográfico

La determinación de la calidad de las harinas se realizó de acuerdo al método AACC 22-10. Los parámetros a evaluar fueron: tiempo de gelatinización y máximo de gelatinización.

3.7.8.2 Análisis farinográfico

La capacidad de absorción de agua y las propiedades de las mezclas se determinaron por medio del farinografo Brabender, de acuerdo al método AACC 54-21A. Los parámetros a evaluar fueron: absorción de agua, tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad de la masa e índice de tolerancia a la mezcla.

3.7.8.3 Análisis extensográfico

La determinación de la calidad de las mezclas de harinas se determinó por el método AACC 54-10, utilizando el extensografo Brabender. Los parámetros a evaluar fueron: la resistencia a la extensión, la máxima resistencia a la extensión, la extensibilidad y la energía.

3.7.9 Cálculo del cómputo químico de las formulaciones

Se realizó en base a las cantidades en gramos, de las proteínas en las formulaciones de 100:00 (F1), 91.7:8.3 (F2), 75:25 (F3), 87.5:12.5 (F4), 83.3:16.7 (F5), 81.3:18.7 (F6), 93.7:6.3 (F7) de la harina de trigo y la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, respectivamente.

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

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

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 aminoacídico establecido para el adulto. El resultado se expresó de manera porcentual. El valor más bajo es el 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.

3.7.10 Colorimetría

Para el análisis del color de las muestras de harinas fue utilizado el colorímetro de marca KONICA MINOLTA, siguiendo el sistema CIE-lab, determinándose los valores de L*, luminosidad (Negro 0; blanco 100), a* (-verde/+rojo) y b*(-azul/+amarillo). La cromacidad (C*) y el ángulo de tonalidad (h°), calculado según Minolta (2006).

3.8 Elaboración del pan de molde

Para la elaboración de los panes de molde se siguió la metodología de EL DASH, 1994. (Tabla 20). En la figura 17 se muestra el flujo de operaciones para la elaboración de los panes.

Tabla 20: Formulación utilizada para la producción de pan de molde

Formulación	
Ingrediente	% (Base harina)
Harina de trigo	100
Agua potable helada	50
Azúcar	8
Mejorador de masas	1
Antimoho	0.3
Manteca Vegetal	10
Emulsificantes	1
Levadura seca	2
Sal yodada	2

Fuente: EL DASH., 1994

Tabla 21: Presentación de las formulaciones desarrolladas para la elaboración de panes de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha inchi.

Ingredientes	Formulación						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Harina de trigo (%)	100	91.7	75	87.5	83.3	81.3	93.7
T.D.E sachá inchi (%)	0	8.3	25	12.5	16.7	18.7	6.3
Agua (%)	50	50	50	50	50	50	50
Azúcar (%)	8	8	8	8	8	8	8
Mejorador (%)	1	1	1	1	1	1	1
Antimoho (%)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Manteca Vegetal (%)	10	10	10	10	10	10	10
Emulsificantes (%)	1	1	1	1	1	1	1
Levadura seca (%)	2	2	2	2	2	2	2
Sal yodada (%)	2	2	2	2	2	2	2

T.D.E: Torta desgrasada extruida de Sacha inchi

3.8.1 Procedimiento para la elaboración del pan de molde

Los panes fueron elaborados en la planta piloto agroindustrial de la universidad nacional del santa, conforme a la descripción del flujograma presentado en la figura.

- 3.8.1.1 Recepción:** Se recepcionó la materia prima e insumos, pasando por los controles respectivos, verificando la fecha de vencimiento.
- 3.8.1.2 Amasado:** Fueron colocados en la amasadora marca NOVA a 900 rpm de velocidad, la harina, sal, azúcar, manteca vegetal, mejorador, fermento y poco a poco se adiciono el agua helada con el tiempo de aproximadamente 10 minutos, hasta la formación de la red proteica (gluten).
- 3.8.1.3 Boleado, reposo y moldeado:** La masa fue dividida en porciones de 650 gr. Para tener una mayor superficie de contacto con la temperatura ambiente, luego se realizó el boleado de forma manual y se dejó reposando por un periodo de 15 minutos, Al término del tiempo de descanso, se procedió al moldeado de la masa para introducirla en los moldes previamente untados de manteca.
- 3.8.1.4 Fermentación:** Las masas fueron colocadas en la cámara de fermentación marca NOVA, modelo MAX 1000 con temperatura de 31 °C y 69% de HR, con tiempo de duración de aproximadamente 75 minutos.

- 3.8.1.5 Horneado:** Después de la fermentación, los panes fueron cocidos en un horno de convección rotativo marca NOVA, modelo MAX 1000 a 180°C por 45 minutos.
- 3.8.1.6 Enfriado:** los panes fueron resfriados a temperatura de 30 °C, con un tiempo de aproximadamente 90 a 120 minutos.
- 3.8.1.7 Rebanado y embolsado:** Después del enfriado los panes de molde fueron rebanados con el uso de la cortadora marca NOVA, modelo REB. Fueron acondicionados en un embalaje de polipropileno liso y transparente. Los productos fueron mantenidos en condiciones normales de almacenamiento a temperatura ambiente, hasta la utilización.

Los panes fueron preparados por el método de masa directa según el diagrama de flujo del proceso descrito en la figura 12.

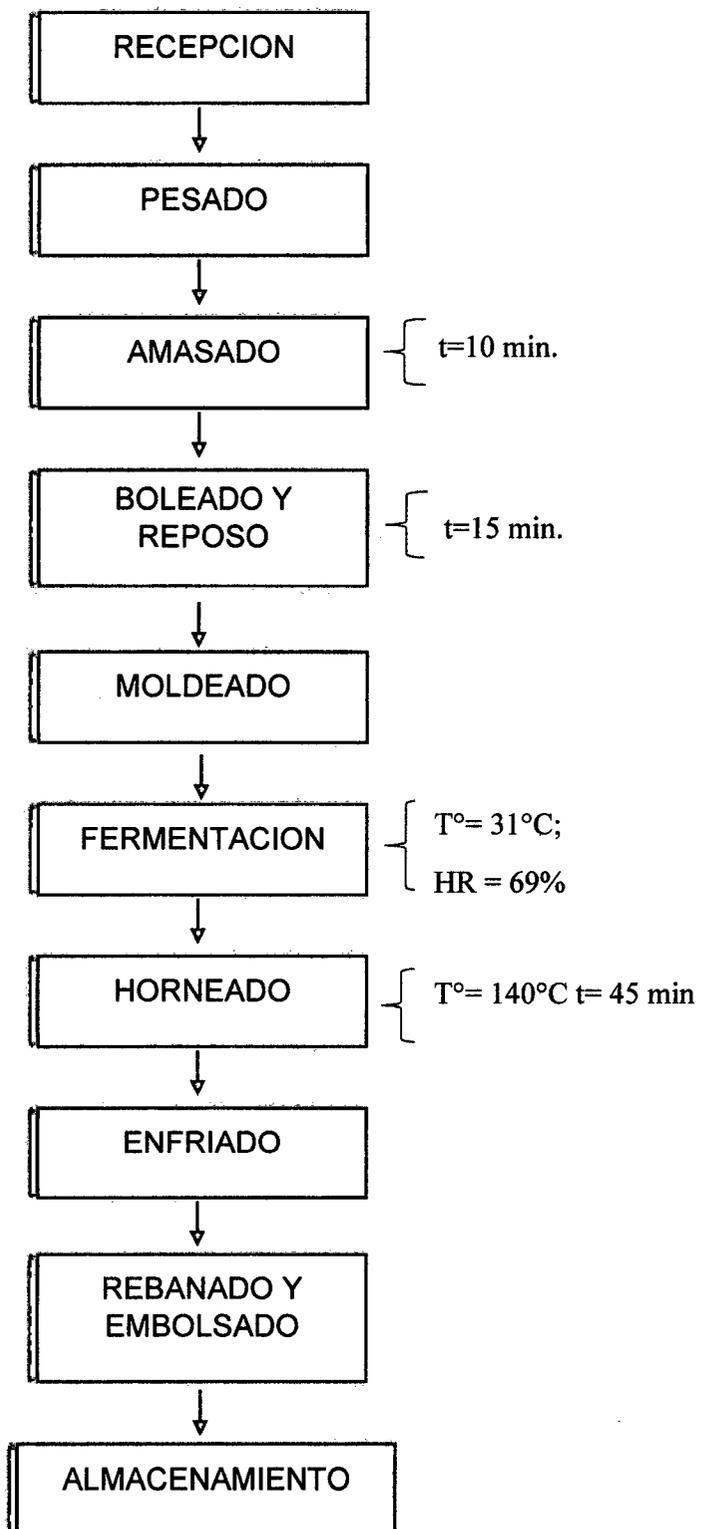


Figura 12: Diagrama de flujo para la elaboración de pan de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

3.8.2 Evaluación de los panes

- 3.8.2.1 Humedad:** Se determinó según la N.T.P.205.037:1975 (revisada el 2011): harinas. Determinación de humedad.
- 3.8.2.2 Proteína:** La determinación de la proteína de los panes fueron realizadas en los laboratorios COLECBI S.A.C según el método UNE-EN ISO 5983-2 parte.2.Dic.2006. Determinación de proteínas totales (Metodo Kjeldahl), utilizando el factor 6.25 como factor para la mayoría de cereales y 5.70 como factor para el trigo.
- 3.8.2.3 Grasa:** La determinación de la composición de grasas en los panes de molde fueron realizadas en los laboratorios COLECBI S.A.C según el método UNE 64021 1971, método Soxhlet.
- 3.8.2.4 Ceniza:** Se realizó por incineración de la materia orgánica en una mufla, siguiendo la metodología por la N.T.P. 205.038.1975 (Revisada el 2011): harinas determinación de cenizas.
- 3.8.2.5 Fibra:** Las determinaciones de fibra fueron realizadas en los laboratorios COLECBI S.A.C según el método NMX-F-090-1978. El cual se basa en la digestión acida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda.
- 3.8.2.6 Carbohidratos:** La determinación de carbohidratos fue realizada por diferencia, esto es, una fracción de

carbohidratos corresponde a 100 menos la sumatoria de las fracciones de proteínas, grasas, cenizas, fibra, y humedad.

3.8.2.7 Volumen específico: El volumen específico de los panes fueron determinados por el método de desplazamiento de semillas de baja densidad como el caso del alpiste, aproximadamente una hora después de la salida del horno.

3.8.2.8 Color de la corteza y de la miga: La determinación del color de la corteza y de la miga se realizó con el uso del colorímetro marca KONICA MINOLTA, siguiendo el sistema CIElab, determinándose los valores de L*, luminosidad (negro 0/ blanco 100), a* (verde-/rojo+) y b* (azul-/amarillo+). El color de la miga fue realizado en el centro de la rebanada del pan, por triplicado y el color de la corteza en la parte superior del mismo. La cromacidad C* fue determinada utilizando la siguiente ocasión:

$$Cromacidad = \sqrt{a^2 + b^2}$$

El ángulo de tonalidad h° fue determinado por:

$$Angulo\ de\ tonalidad\ (h^\circ) = \tan^{-1} b^*/a^*$$

3.8.2.9 Textura: Para este análisis se utilizó el texturómetro de marca BROOKFIELD.

3.8.2.10 Evaluación Sensorial: Treinta probadores semi-entrenados evaluaron en las cabinas de análisis sensorial

de la planta piloto agroindustrial de la universidad nacional del santa, siete formulaciones de pan de molde, codificadas al azar. En la prueba de aceptabilidad fueron evaluados los atributos de apariencia, textura, color, olor y sabor, a través de la escala hedónica estructurada de nueve puntos (1 = me disgusta muchísimo, 5= ni me gusta/ni me disgusta 9= me gusta muchísimo) de acuerdo a Stone y Sidel (1993), mencionados por Camelo C. (2007). Las muestras fueron servidas en platos de polipropileno, codificados con números de tres dígitos al azar, acompañadas de un vaso de agua mineral a temperatura ambiente para ser utilizada por el probador entre las degustaciones de las muestras.

3.8.2.11 Análisis del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases

Se utilizó el método oficial AOAC 996.06 para determinación de ácidos grasos FAMES. Se pesó 0.025 g. de muestra previamente secada en la estufa POL-EKO a 105 °C x 1h. Se añadió 1.5 ml de solución de NaOH 0.5N, se cubrió con una capa de N₂ y se calentó por 5 minutos a 100°C. Una vez enfriada se añadió 2 ml de solución de BF₃ se cubrió con una capa de N₂, se agito y calentó por 30 minutos a 100°C. Enfriada la muestra se añadió 1 ml de Isooctano, y se cubrió con una capa de N₂ y agitó por 30 segundos. Inmediatamente se añadió 5 ml de solución saturada de NaCl cubriendo con una capa de

N₂ y agitando vigorosamente. Se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se transfirió la fase orgánica (isooctano), a un vial de 2 ml y se cubrió con una capa de N₂. Luego se inyectó 1 µL en el cromatografo de gases Shimadzu modelo 2010, con una columna capilar (Rt-2560, 100m de largo x 0.25 de diámetro interno y 0.2 µm de espesor). Utilizando como gas carrier helio (He) de alta pureza 99.99%, con velocidad de arrastre de 30 mL/min. Las condiciones fueron las siguientes: temperatura de inyector 225°C, temperatura de detector (FID) 250°C, flujo de hidrogeno (H) 40 mL/min y flujo de aire sintético: 399.8 mL/min.

3.8.2.12 Análisis estadístico

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA, $P < 0.05$) y las medias comparadas por las pruebas de Tuckey al 5% de significancia, utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16.2.4.4 con la presentación de los datos en las tablas.

IV. RESULTADOS

4.1 Obtención de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

Se obtuvo una torta desgrasada extruida con granulometría uniforme (Figura 13) con olor sui generis y sabor ligeramente astringente, resultados similares a lo reportado por Mondragón (2009) en la descripción organoléptica de la torta desgrasada de Sacha Inchi obtenida en su investigación. En la elaboración de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi se empleó 50 kg de semillas de Sacha Inchi y se siguió el procedimiento descrito en el diagrama de flujo (figura 11), una vez realizado el prensado de la semilla, se obtuvo un porcentaje de torta desgrasada de 62.1% y de aceite de 37.9%, similares a los obtenidos por Hurtado (2013), no obstante este rendimiento disminuyó con las operaciones de extrusión y molienda, con el cual se obtuvo un rendimiento final de 24.17%. (ANEXO 01).

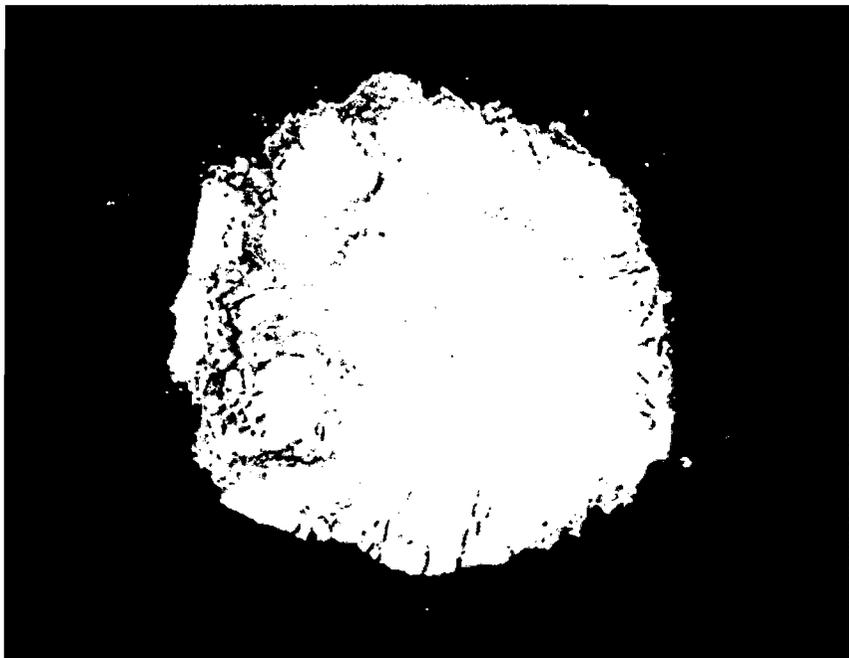


Figura 13: Torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

Las semillas oleaginosas por su calidad nutritiva, es una alternativa promisorio para cubrir las deficiencias de mal nutrición en la población, por cuya razón el uso de torta desgrasada extruida es una opción para mejorar la dieta alimentaria. La extrusión tiene varias ventajas, como la reducción de la carga bacteriana, inactivación de algunas enzimas y factores anti nutricionales, y modificación de las características sensoriales. No obstante cambian las propiedades nutricionales y funcionales del producto. (Camire, Camire, and Krumhar, 1990; Singh, Gamlath y Wakeling, 2007), mencionados por Gómez et al., (2011).

A continuación en la figura 14 se presenta imágenes de las operaciones realizadas en éste estudio para la obtención de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.

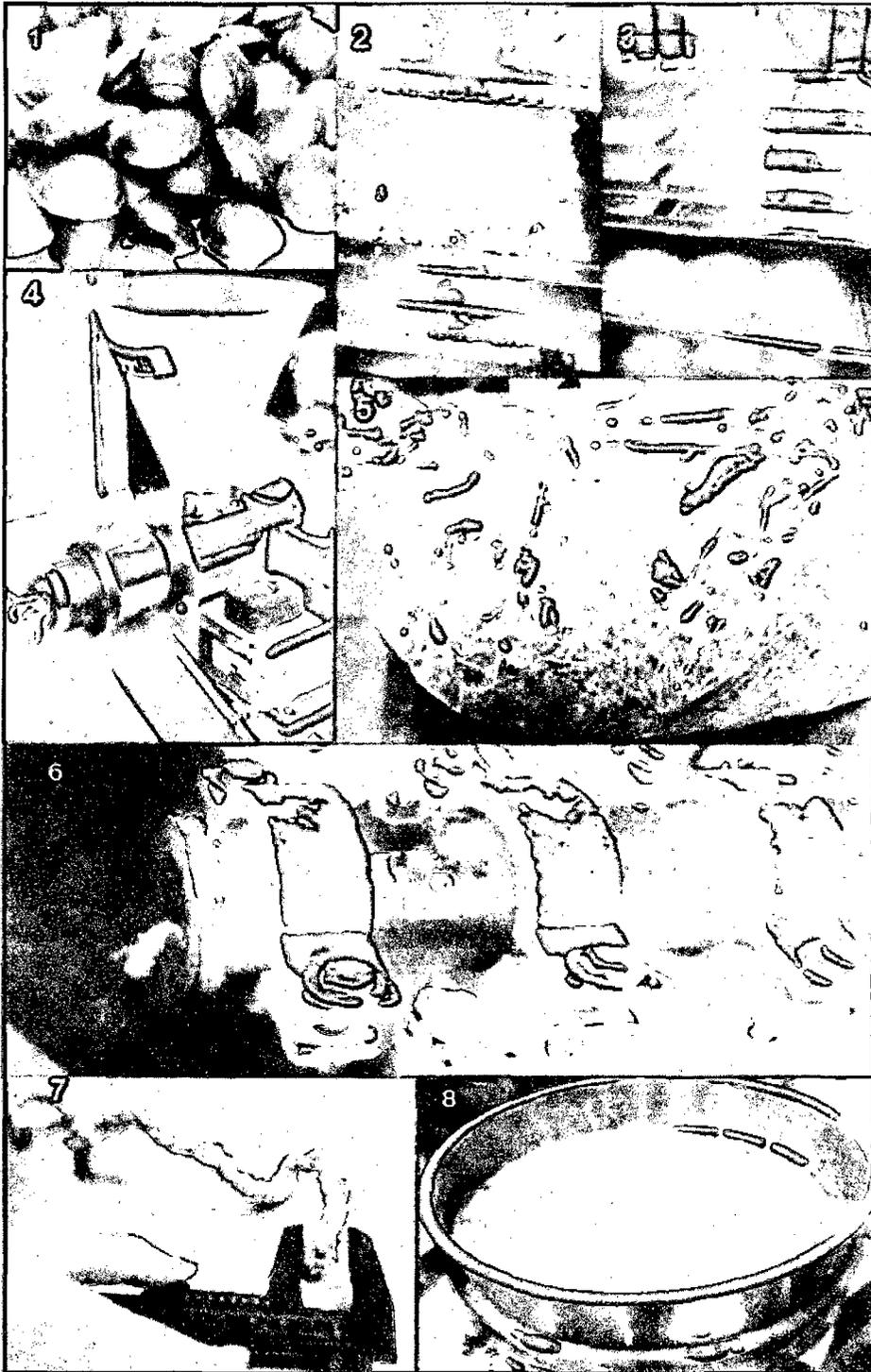


Figura 14: Obtención de la torta desgrasada extruida de sachá inchi. 1) Recepción, 2) triturado, 3) secado, 4) extracción por expeller, 5) torta desgrasada, 6) extrusión, 6) expandido, 8) molienda de la torta desgrasada extruida de sachá inchi.

4.2 Caracterización de las harinas

4.2.1 Evaluación químico proximal de las harinas

4.2.1.1 Harina de trigo

Los resultados del análisis de la composición porcentual de la harina de trigo se muestran en la tabla 22.

Tabla 22: Análisis proximal de la harina de trigo

Componentes	(%)
Humedad	13.6±0.4
Proteína	10.9±0.2
Cenizas	1.1±0.2
Grasa	0.7±0.5
Fibra	1.40±0.1
Carbohidratos	72.30±0.2

(±): *Desviación estándar*

Los resultados presentados en la tabla 22, muestran un contenido de humedad para la harina de trigo de 13.6%, el cual se encuentra dentro del rango permitido por la NTP.2005.027:1986.

El contenido proteico de la harina de trigo encontrado en este estudio (10.9%), mayor al 7.0% referido en el Codex Alimentarius 152-1985.

El valor de cenizas encontrado en la harina de trigo (1.1%) está dentro de los parámetros de la N.T.P. 205.027:1986, para la harina enriquecida.

El contenido de carbohidratos y fibra en la harina fueron de 72.30% y 1.40% respectivamente, valores cercanos a

Bilbao (2007), el cual menciona que la harina de trigo tiene alrededor de 70% de carbohidratos y 1.5% de fibras.

4.2.1.2 Torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

Los resultados del análisis de la composición porcentual de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi se muestran en la tabla 22.

Tabla 23: Análisis proximal de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

Componentes	(%)
Humedad	5.6±0.05
Proteína	55.71±0.2
Cenizas	5.83±0.2
Grasa	4.79±0.2
Fibra	6.6±0.1
Carbohidratos	21.47±0.1

(±): *Desviación estándar*

Los resultados presentados en la tabla 23, muestran un contenido de humedad de 5.6%. Pascual, G., et al (2000) y Mondragón (2009) reportaron valores de humedad de 6.37% y 5,09% respectivamente en las tortas desgrasadas de sachá inchi sin extruir.

El contenido de proteínas es significativamente elevado (55.71 %). Similares valores fueron reportados por Pascual y Mejía (2000) del contenido de proteínas de la torta desgrasada (58, 61) mientras que Mondragón (2009) reportó un valor ligeramente inferior de (48, 74%) en la torta desengrasada de sachá inchi.

La composición lipídica en la torta presenta un valor de 4.79%, siendo una fracción importante y no mayor al 10%, ya que el funcionamiento de los extrusores para materias primas con valores de grasa superiores a este valor, impiden su buen funcionamiento. El contenido de grasa para la torta en este estudio es ligeramente menor a lo reportado por Pascual y Mejía (2000) 6.93%, y significativamente menor a lo reportado por Mondragón (2009) 35.44%; estas diferencias encontradas se podrían atribuir a diferencias varietales y edafoclimáticas de la muestra en estudio, así como al proceso de extracción de aceite, ya que se puede asumir que en lo reportado de Mondragón (2009) se realizó un desgrasado parcial.

En cuanto al contenido de cenizas, la torta presenta un valor 5.83% cuyo resultado encontrado es similar a lo reportado por Hurtado (2013) con 5.19%, por el contrario menor a lo encontrado por Pascual, et al, (2002) 8.72% y significativamente mayor a lo reportado por Mondragón (2009) 3.24%. Esto se debe a la presencia de minerales como el Hierro, según resultados de Mondragón (2009) del análisis bromatológico a la torta desgrasada de sachá inchi, donde reportó 4.18 mg Fe/100g.

El contenido de fibra y carbohidratos fue 6.6% y 21.47% respectivamente, que son cercanos a los valores encontrados son por Mondragón (2009) con 3.16% y

22.02% y por Hurtado (2013) 4.79% y 26.50% respectivamente, sin embargo diferentes a lo reportado por Pascual y Mejía (2000) con 17.30% y 7.91% respectivamente.

4.2.2 Colorimetría de las harinas

El color de la harina o el contenido de cenizas pueden afectar el comportamiento de la harina durante la cocción; generalmente cuanto más blanco sea el color, mejores serán sus propiedades para la panificación. (Stanley, 2002).

Los resultados de los análisis del color de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi se muestran en la tabla 24.

Tabla 24: Parámetros de color a, b, L, C* y h° de las harinas

ANÁLISIS DE COLOR DE LAS HARINAS					
MUESTRA	a*	b*	L*	C*	h°
Harina de Trigo	-0.90±0.07 ^b	10.28±0.33 ^b	94.74±0.08 ^a	10.40±0.32 ^b	94.44±0.57 ^a
Torta de Sacha Inchi	3.58±0.15 ^a	25.08±0.43 ^a	73.02±0.74 ^b	25.33±0.45 ^a	90.96±0.24 ^b

(±): *Desviación estándar*

L: luminosidad (0= negro y 100= blanco); a: coordenada cromática rectangular (valor positivo= tonos rojizos); y b: coordenada cromática rectangular (valor positivo= tonos amarillos), C*= cromaticidad; h°= Angulo de tonalidad.

Los valores obtenidos de a* para la harina de trigo y torta desgrasada extruida de sacha inchi fueron (-0.90±0.07) y (3.58±0.15) respectivamente, indicando una ligera tendencia al color verde para el caso de la harina de trigo y una tendencia

al color rojo para el caso de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.

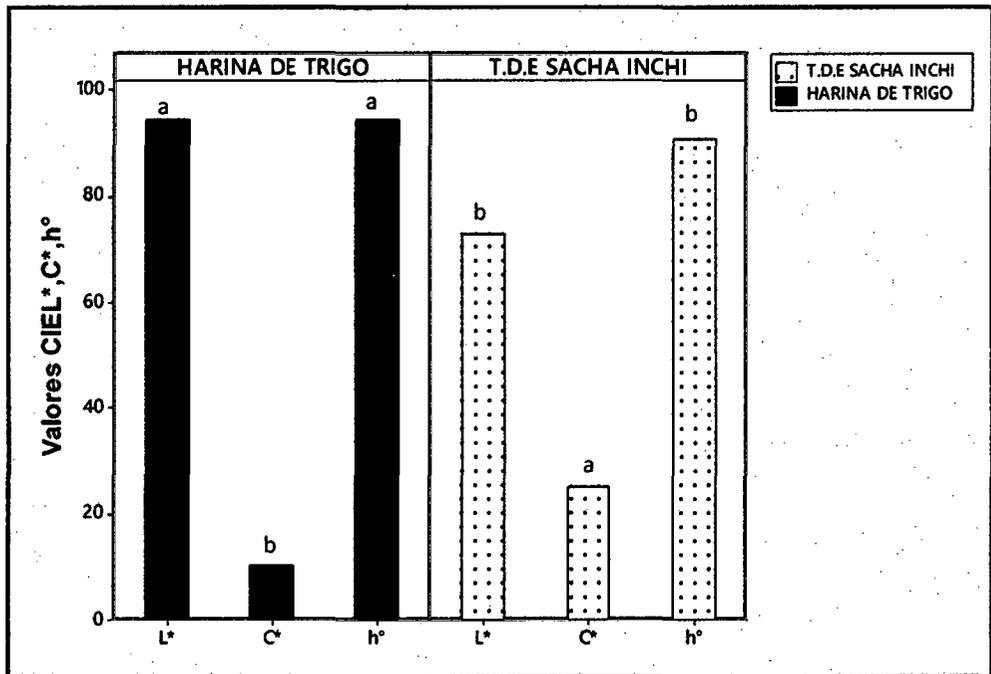
Los valores para b^* fueron (10.28 ± 0.33) y (25.08 ± 0.43) para harina de trigo y torta desgrasada extruida de Sacha Inchi respectivamente, indicando en ambos casos una tendencia al color amarillo, con mayor intensidad en la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.

Los valores de L^* para la harina de trigo y torta de Sacha Inchi fueron (94.74 ± 0.08) y (73.02 ± 0.74) respectivamente, indicando una mayor tendencia al color oscuro para el caso de la torta de Sacha Inchi, por ser más amarillas que la harina de trigo (mayor valor de b^*).

Los resultados de cromacidad fueron (10.40 ± 0.32) y (25.33 ± 0.45) para la harina de trigo y torta desgrasada extruida de Sacha Inchi respectivamente, lo cual indica color apagados en ambos casos. (Figura 15).

El ángulo de tonalidad (h°) para la harina de trigo fue (94.44 ± 0.57) el cual se encuentra en el segundo cuadrante verde-amarillo), resultando una mayor tendencia al amarillo. En la torta desgrasada extruida de sacha inchi obtuvo el valor de (90.96 ± 0.24) el cual se encuentra en el primer cuadrante de las coordenadas de color (rojo-amarillo), con una tendencia más al amarillo. Esto podría deberse a la presencia de carotenoides en la torta de sacha inchi, reportado por Mondragón (2009).

El gráfico de barras de la figura 15, presenta la comparación de las medias de L^* , C^* y h° , para las harinas, obtenidos a partir de los valores de a^* y b^* . En cuanto a la figura 16 muestra, respectivamente las características visuales de las harinas.



Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 15: Comparación entre los valores CIEL*, C^* , h° para la harina de trigo y torta desgrasada extruida de Sacha inchi



Figura 16: Representación de las harinas. A) Torta desgrasada extruida de Sacha Inchi. B) Harina de trigo.

4.2.3 Análisis reológico de las harinas

4.2.3.1 Amilografía

La temperatura de gelatinización es un índice del ordenamiento (asociación) intragranular, por lo que mientras mayor sea este valor, mayor será el grado de asociación de las macromoléculas en el interior del granulo de almidón (Calcáneo, 1991).

Tabla 25: ANOVA de temperatura de gelatinización (°C)

	GL	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	F	P
Formulación	6	8.436	1.406	5.20	0.005
Error	14	3.787	0.270		
Total	20	12.223			

Se ha determinado que existen diferencias significativas entre las formulaciones aplicadas en la elaboración de pan de molde, con respecto al tiempo de desarrollo ($p < 0.05$). (Tabla 25)

Tabla 26: ANOVA de máximo de gelatinización

	GL	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	F	P
Formulación	6	1114417	185736	45354.19	0.000
Error	14	57	4		
Total	20	1114475			

Se ha determinado que existen diferencias significativas entre las formulaciones aplicadas en la elaboración de pan de molde, con respecto al máximo de gelatinización ($p < 0.05$). (Tabla 26)

Los resultados para el parámetro de temperatura de gelatinización se muestran en la tabla 27, donde el máximo valor de temperatura gelatinización alcanzado fue 91.0°C de la formulación 1(100% harina de trigo); por otro lado el menor valor fue 89.0°C, formulación 2 (91.7 % harina de trigo +8.3% torta desgrasada extruida de Sacha Inchi).

Los resultados de la tabla 27 para los valores de máximo de gelatinización, muestran el valor más alto 1349 AU para la formulación 1(100% harina de trigo), y el menor valor 630, para la formulación 3 (75 % harina de trigo +25% torta desgrasada extruida de Sacha Inchi). Resultados similares reporto Gómez, et al., (2008), quienes determinaron parámetros viscosímetros en harina de trigo sustituido con harina de garbanzo, reportando los picos de viscosidades más bajos para las harinas de trigo con sustitución atribuyendo de este fenómeno al alto contenido de fibra, y la baja presencia de carbohidratos. (Gómez et al., 2008, citado por Indrani et al, 2010).

Tabla 27: Resumen de las formulaciones analizadas por el amilograma

Formulación	Harina de Trigo (%)	TDE Sacha Inchi (%)	Inicio de Gelatinización (°C)	Temperatura de Gelatinización (°C)	Máximo de Gelatinización (AU)
1	100	0	62.1	91.0± 0.49	1349±1.53
2	91.7	8.3	62.3	89-0±1.0	960±2.0
3	75.0	25.0	63.1	90.0±0.38	630±3.51
4	87.5	12.5	62.6	90.4±0.26	838±1.0
5	83.3	16.7	63.0	90.0±0.15	744±1.53
6	81.3	18.7	63.5	89.3±0.53	655±2.08
7	93.7	6.3	62.4	90.5±0.29	986±1.53

(±): Desviación estándar

Mediante la prueba de significación de Tuckey se puede concluir que la formulación 2 con nivel de sustitución 8.3% a un ($p < 0.05$) es estadísticamente diferente a las demás formulaciones. Además, se puede concluir que no existen diferencias significativas a un ($p < 0.05$) con niveles de sustitución de 6.3%, 12.5%, 16.7%, 18.7%, 25%. (Figura 17)

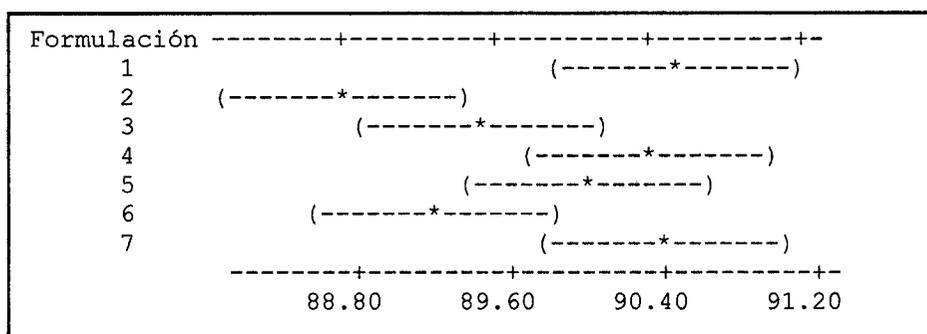


Figura 17: Gráfico de comparaciones de Tuckey para la temperatura de gelatinización (°C)

La prueba de comparaciones múltiples Tuckey indica que, la formulación 1 (100% harina de trigo) a un ($p < 0.05$) es estadísticamente diferente a las demás formulaciones. (Figura 26).

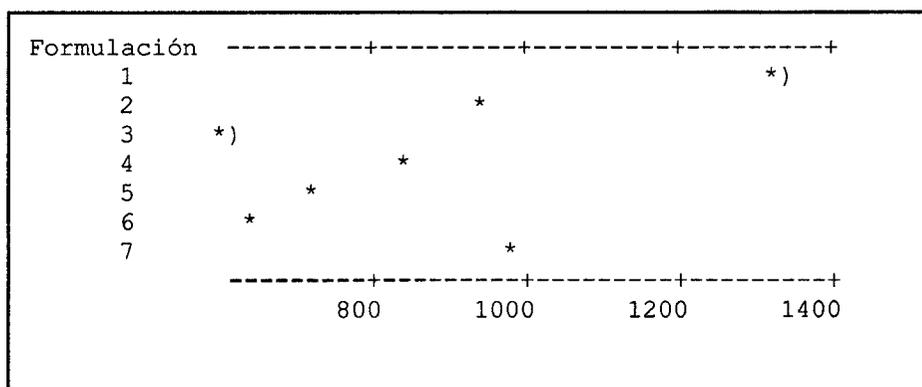
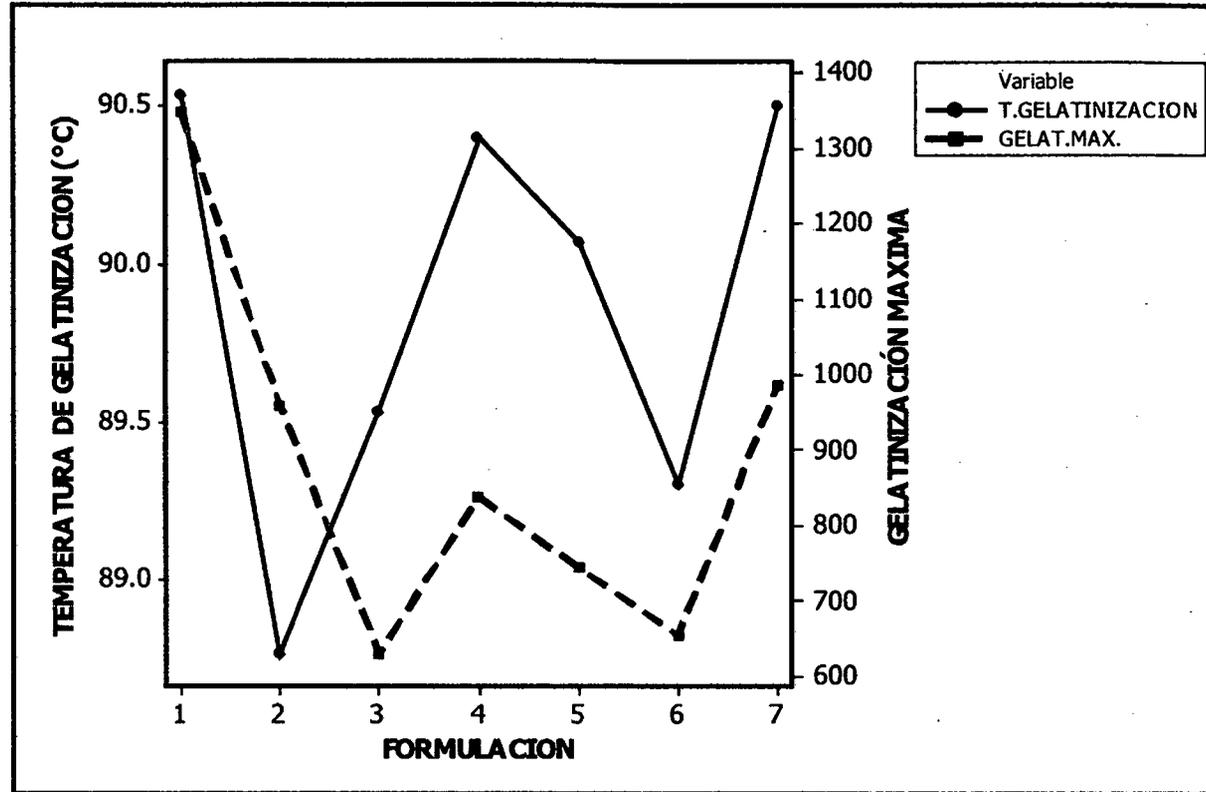


Figura 18: Gráfico de comparaciones de Tuckey para máximo de gelatinización (°C)



TG = Temperatura de gelatinización; GM = Gelatinización máxima

HT: harina de trigo, TSI: torta desgrasada extruída de Sacha Inchi F1 (100%H.T), F2 (91.7%H.T+8.3%T.S.I), F3 (75%H.T+25%T.S.I), F4 (87.5%H.T+12.5%T.S.I), F5 (83.3%H.T+16.7%T.S.I), F6 (81.3%H.T+18.7%T.S.I), F7 (93.7%H.T+6.3%T.S.I).

Figura 19: Gráfica de características amilográfica

En la figura 19, se representa el comportamiento amilográfico de las diferentes formulaciones evaluadas en este estudio.

Gonzales y Pacheco, 2006, refieren 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. La figura 27, muestra los puntos de evaluación: comienzo de la gelatinización (punto azul), temperatura de gelatinización (+ azul) y máxima gelatinización (eje y).

4.2.3.1.1 Gráficas de los análisis amilográficos de las formulaciones

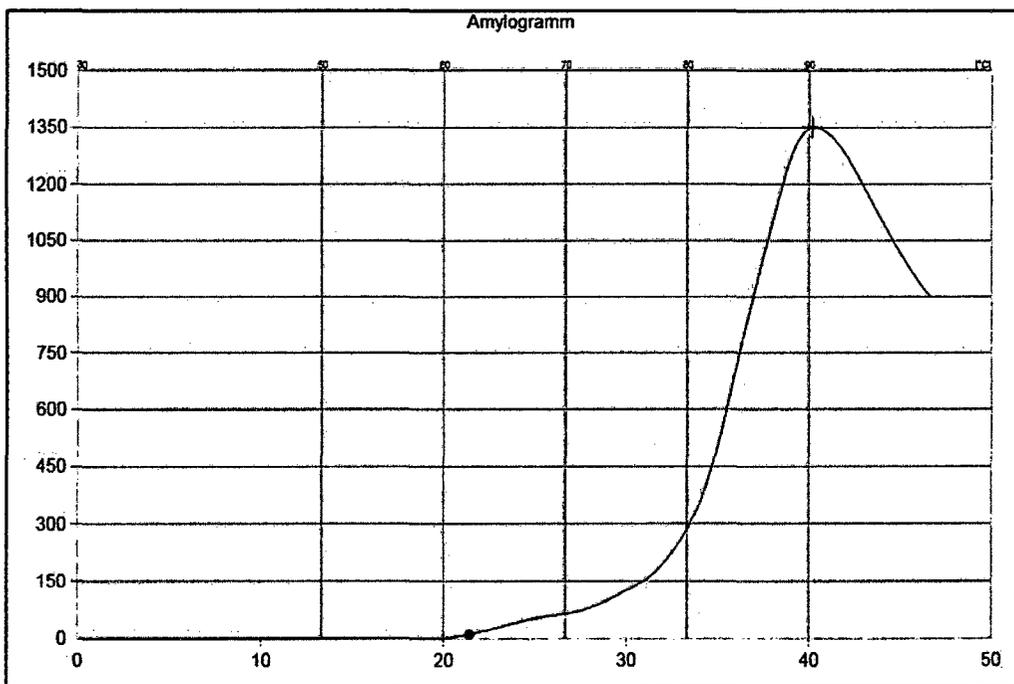


Figura 20: Amilografía de la formulación F1

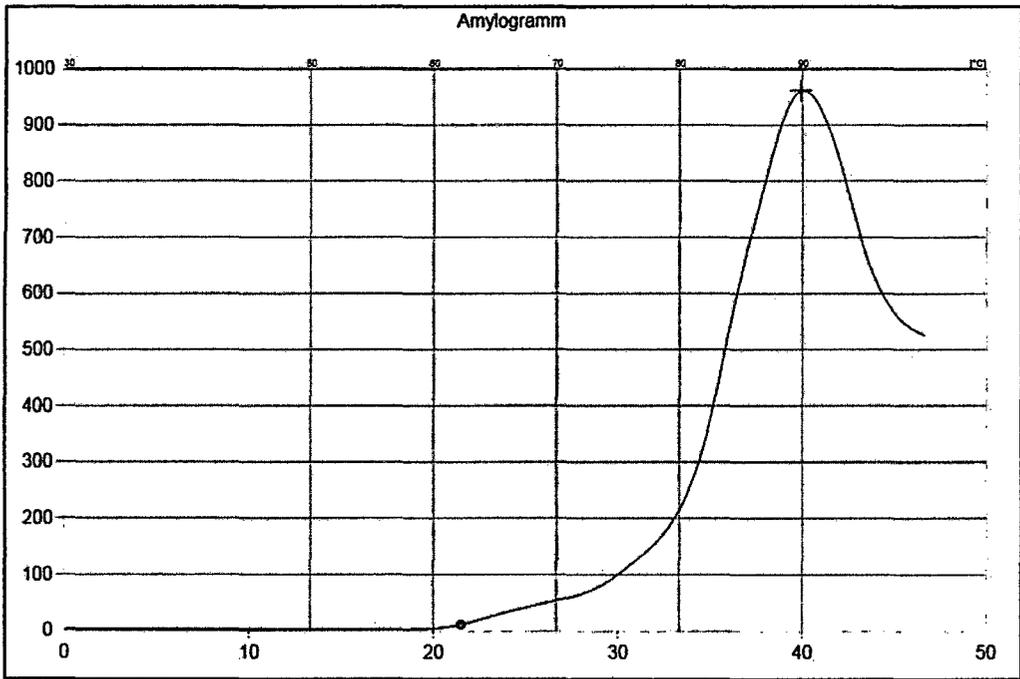


Figura 22: Amilografía de la formulación F2

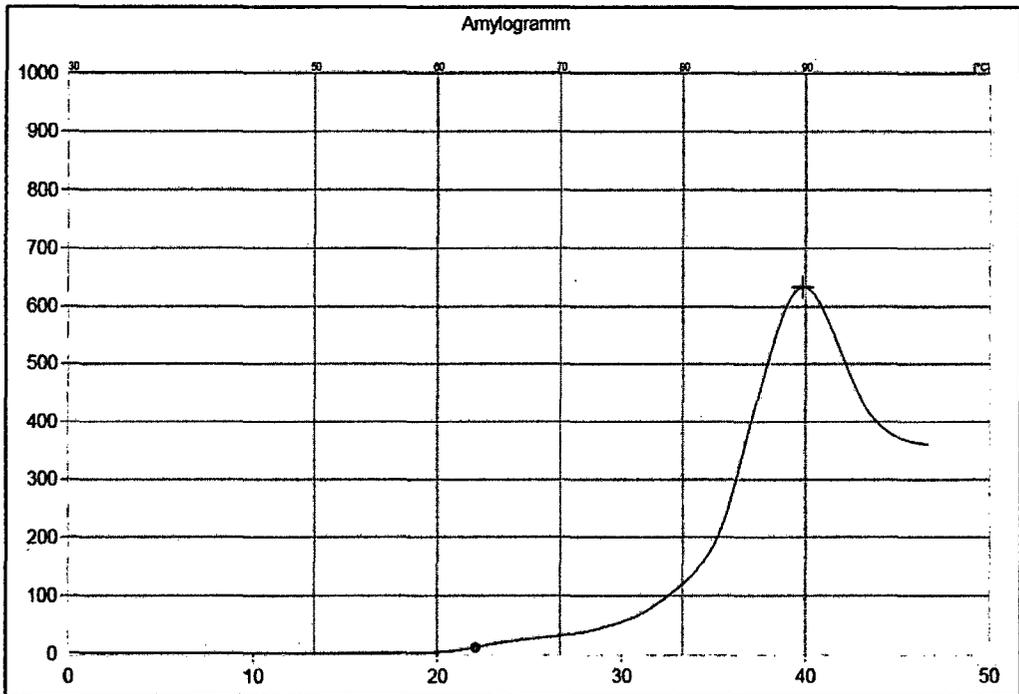


Figura 21: Amilografía de la formulación F3

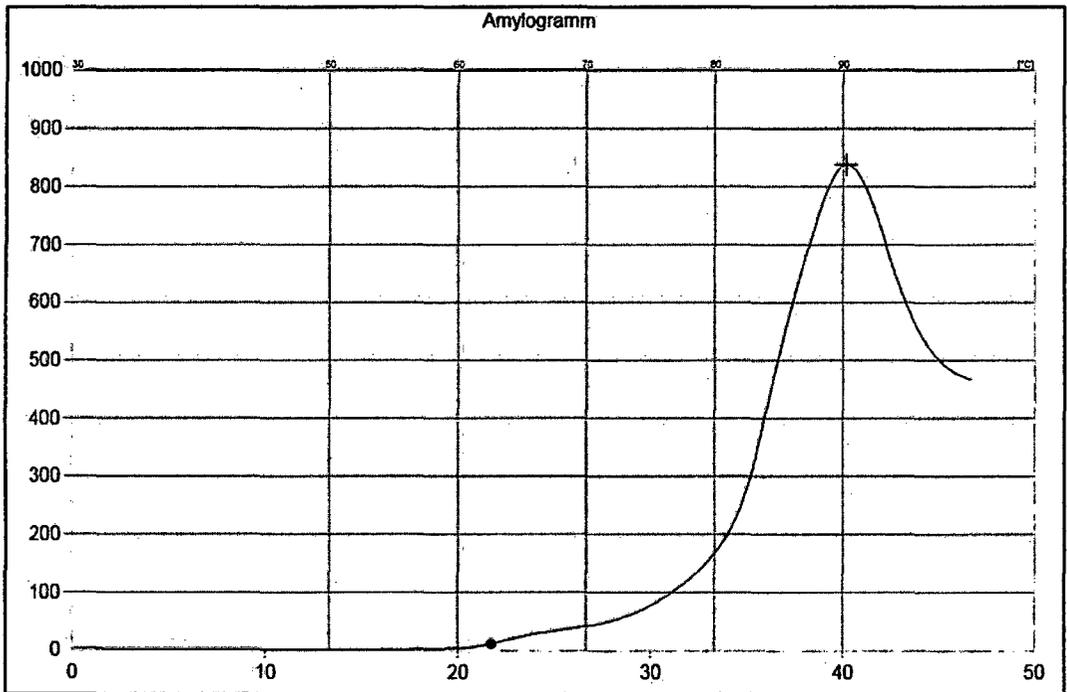


Figura 23: Amilografía de la formulación F4

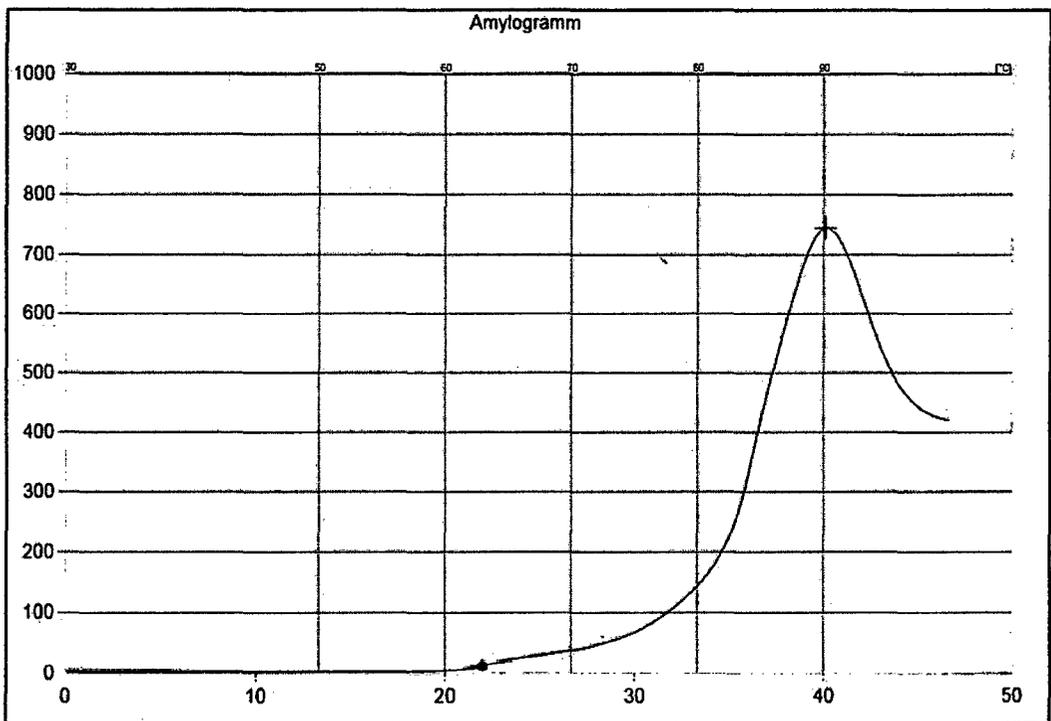


Figura 24: Amilografía de la formulación F5

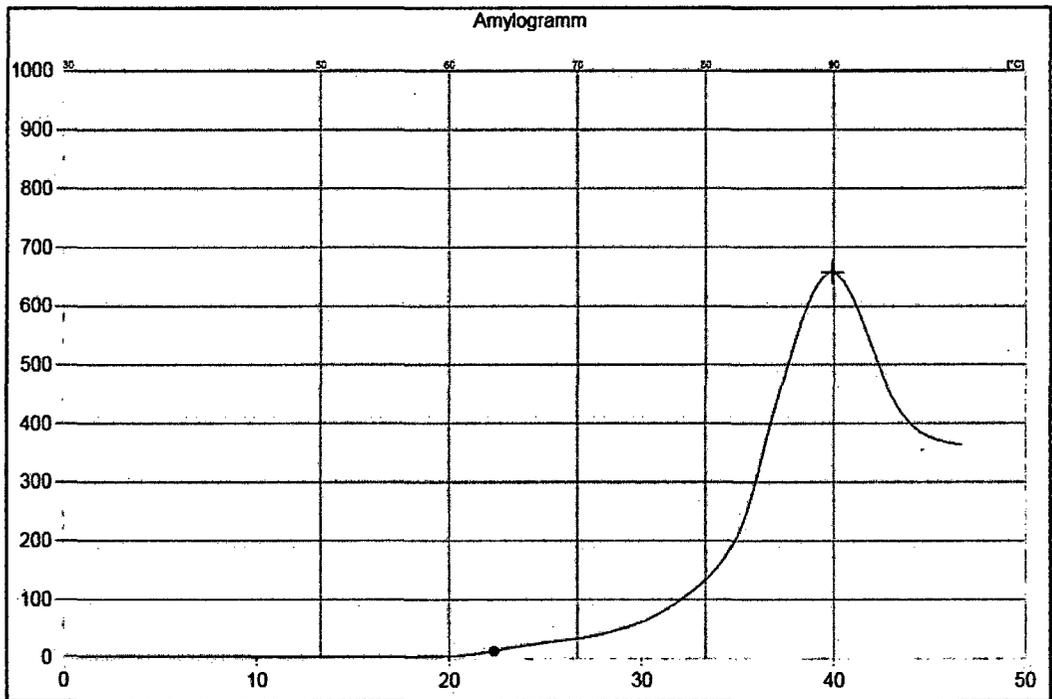


Figura 25: Amilografía de la formulación F6

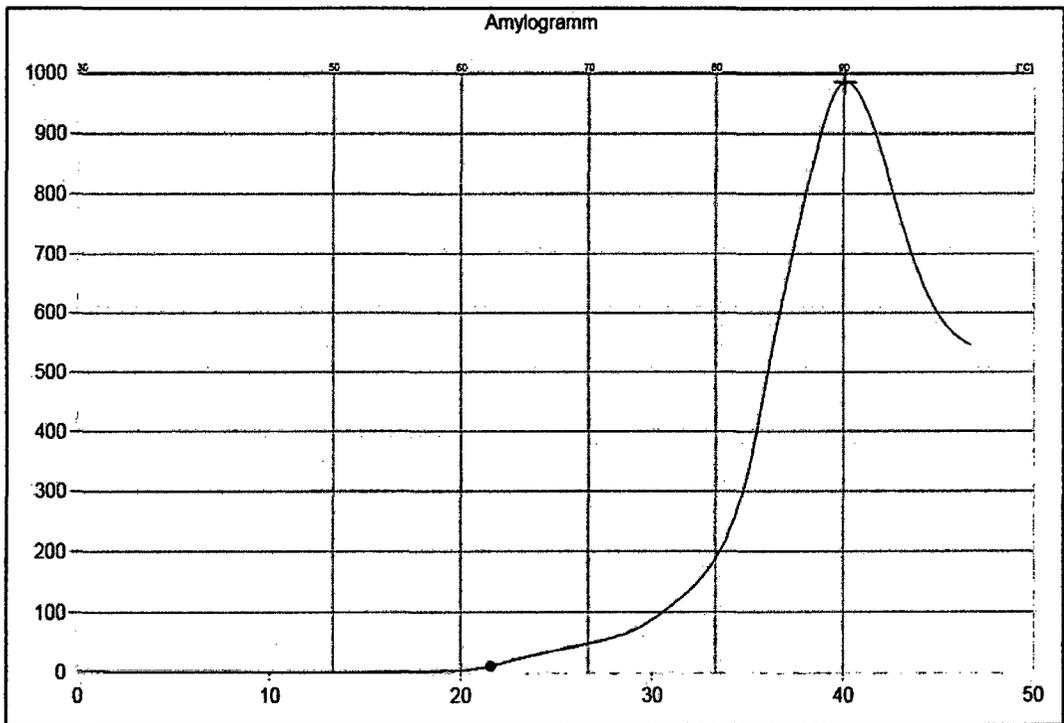


Figura 26: Curva amilográfica de la formulación F7

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 28: ANOVA para la absorción de agua

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	73.991	12.3319	111.63	0.000
Error	14	1.547	0.1105		
Total	20	75.538			

Se ha determinado que existen diferencias significativas entre las formulaciones aplicadas en la elaboración de pan de molde, con respecto a la absorción de agua a un ($p < 0.05$).

Mediante la prueba de significación de Tuckey se puede concluir que estadísticamente las formulaciones con nivel de sustitución 18.7% y 25% tienen diferencias altamente significativas frente a las demás formulaciones a un ($p < 0.05$).

Tabla 29: ANOVA para el tiempo de desarrollo de la masa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	13.9879	2.33132	1398.79	0.000
Error	14	0.0233	0.00167		
Total	20	14.0113			

Se ha determinado que existen diferencias significativas entre las formulaciones aplicadas en la elaboración de pan de molde, con respecto al tiempo de desarrollo ($p < 0.05$).

Mediante la prueba de significación de Tuckey se puede concluir que estadísticamente a un ($p < 0.05$) que, a niveles de sustitución de 18.7%, 25%, 12.5%, 6.3% son estadísticamente iguales.

Tabla 30: ANOVA para la estabilidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	33.3808	5.56347	2523.39	0.000
Error	14	0.0309	0.00220		
Total	20	33.4117			

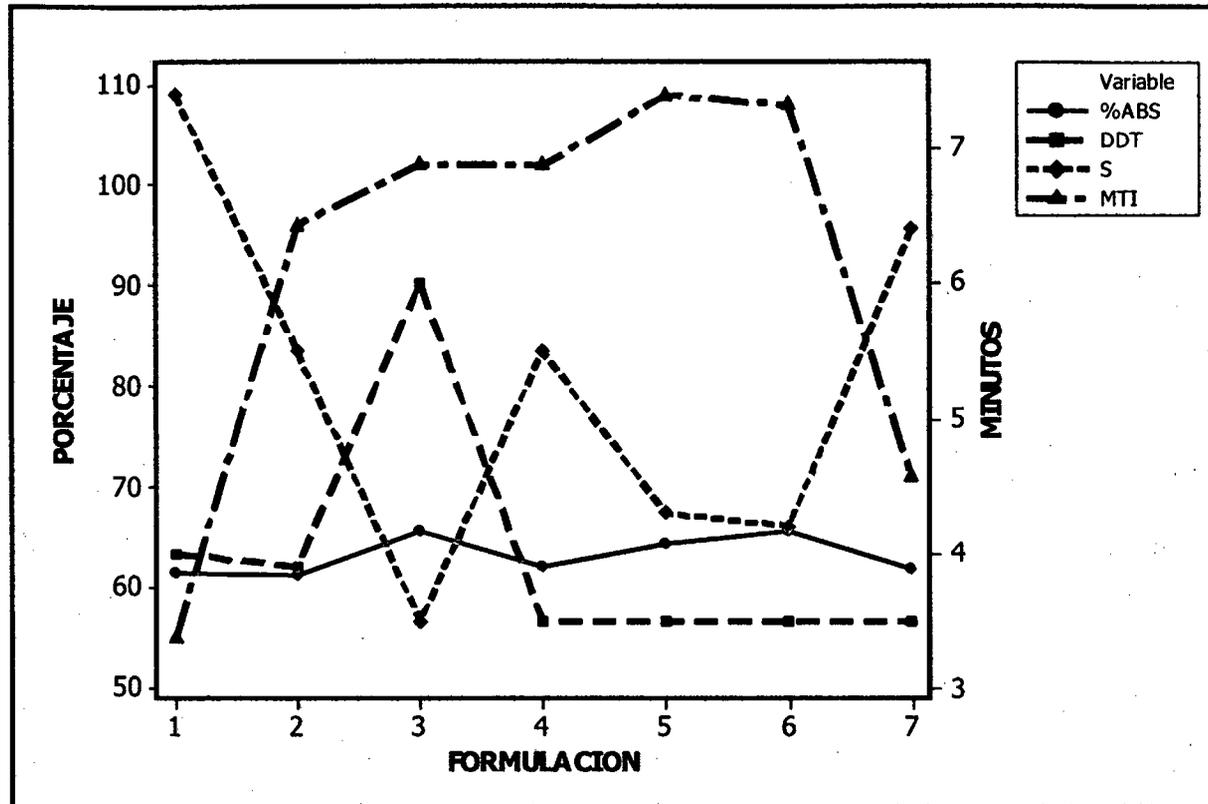
La tabla 30, muestra el valor de ($p < 0.05$) lo cual indica que, existen diferencias significativas entre las formulaciones que repercuten sobre el tiempo de desarrollo. Además, no existen diferencias significativas a un ($p < 0.05$) con niveles de sustitución de 12.5% y 25%; 16.7% y 18.7% de sustitución.

Tabla 31: Resumen de las formulaciones analizadas por farinografía

Formulación	Harina de Trigo (%)	TDE Sacha Inchi(%)	(%) ABS	DDT(min)	S (min: ss)	MTI (FE)
1	100	0	61.4± 1.08	4.0±0.09	7.4±0.06	55±1.1
2	91.7	8.3	61.2± 0.21	3.9±0.13	5.5±0.10	96±0.6
3	75.0	25.0	65.7± 0.51	6.0±0.09	3.5±0.03	102±0.74
4	87.5	12.5	62.1± 0.93	3.5±0.07	5.5±0.10	102±0.2
5	83.3	16.7	64.4± 0.64	3.5±0.06	4.3±0.06	109±0.8
6	81.3	18.7	65.7± 2.01	3.5±0.06	4.2±0.03	108±1.4
7	93.7	6.3	61.9± 0.60	3.5±0.1	6.4±0.05	71±0.80

(±): Desviación estándar

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



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

HT: harina de trigo, TSI: torta desgrasada extruída de Sacha Inchi F1 (100%H.T), F2 (91.7%H.T+8.3%T.S.I), F3 (75%H.T+25%T.S.I), F4 (87.5%H.T+12.5%T.S.I), F5 (83.3%H.T+16.7%T.S.I), F6 (81.3%H.T+18.7%T.S.I), F7 (93.7%H.T+6.3%T.S.I).

Figura 27: Gráfica de series de tiempo de características farinográficas

Los resultados obtenidos en el análisis de farinográfica se muestran en la Tabla 31. La harina de trigo utilizado como denotan los resultados, puede ser clasificada como harina de fuerza media, mientras que en el caso de mezclas la adición de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi es responsable de afectar significativamente los parámetros analizados.(Figura 27)

En cuanto el parámetro "absorción de agua", se observa que cuanto mayor es la adición de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi a las mezclas estudiadas, se obtienen valores más altos (figura 27), en este sentido, especialmente las muestras de F6 y F3 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. 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 castaña.

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). Los resultados presentados en la tabla 31 indican que, con la sustitución aumentó el requerimiento de absorción de agua ($p < 0.05$), de 61.4%

(formulación con 100% de harina de trigo) a 65.7% (formulación con 25% de sustitución), (tabla 31). Similar resultado informo también (Mohammed et al., 2011) en la sustitución parcial con harina de garbanzos.

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 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 (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 torta desgrasada extruída de Sacha Inchi, tienden al

debilitamiento de la mezcla y, en consecuencia, dan como resultado una disminución en el tiempo de desarrollo.

El tiempo de desarrollo encontrado en este trabajo fue de 4.0 minutos para la formulación 1(100% harina de trigo), por el contrario, Almeida (2006) y Varanda, (2014), encontraron valores de 10.55 y 9 minutos respectivamente de tiempos de desarrollo de la masa para la harina de trigo, cuyo valor es muy lejano al encontrado en este estudio, el cual indica que se trataría una harina de fuerza media. Además se registró que en los niveles 12.5%, 16.7%, 18.7% y 6.3% no hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

Del mismo modo, se verificó que la adición de fuentes de fibra y proteínas a la harina de trigo influyó en el tiempo de desarrollo de la masa, reduciéndola a excepción de la formulación 3 la cual obtuvo el mayor valor de tiempo de desarrollo 6.0 minutos. (Tabla 31)

La estabilidad es el intervalo de tiempo donde se mantiene la máxima consistencia de la masa e indica la fuerza de la misma (Magaña-Barajas et al., 2009).

Hubo también una disminución de la estabilidad en las muestras con adición de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi en relación a la formulación 1 (100% harina

de trigo), principalmente en el nivel de 25 % de sustitución (tabla 31).

Peña Bautista, 2008, citado por Magaña-Barajas et al., 2009, refieren que una masa de buena calidad panadera es aquella cuyos valores de estabilidad están entre los 10 a 15 min. Sin embargo de acuerdo a los resultados de la tabla 31, todo indica que se trata de una harina de fuerza media, las cuales corresponden a las obtenidas a partir de trigos suaves. Asimismo se registraron valores bajos de estabilidad a niveles 16.7% y 18.7 %, 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 (Jardine, 1982). 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.

El índice de tolerancia, es la diferencia, es la diferencia expresada en unidades farinográficas entre la parte superior del pico y la curva superior de la curva de medición 5 minutos después de la máxima. Este índice proporciona información sobre la mayor o menor tolerancia de la mezcla de la masa, y de acuerdo a las

formulaciones es que hubo una oscilación de 55 a 109 FE. El índice de tolerancia o grados de ablandamientos elevados indican 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 (Bravo, 1999), los resultados de la tabla 31, muestran el valor más bajo de (MTI) para la formulación 1 (100% harina de trigo) y el mayor valor fue al nivel 16.7%, 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.

Borges et al., 2003 también encontró valores de ITM para la harina de trigo y mezclas con harina de quinua con 10% y 20% de sustitución, de 38.9 y 50 UF respectivamente, y Lopes (2006), que encontró valores de ITM para la harina de trigo aislada de 30 UF y con adición de diferentes fuentes de fibra los valores varían entre 40 y 80 UF. Estos dos estudios muestran que la adición de diluyentes de gluten a la harina de trigo tienden a debilitarla en términos de resistencia a la mezcla.

4.2.3.2.1 Gráficas de los análisis farinográficos de las formulaciones

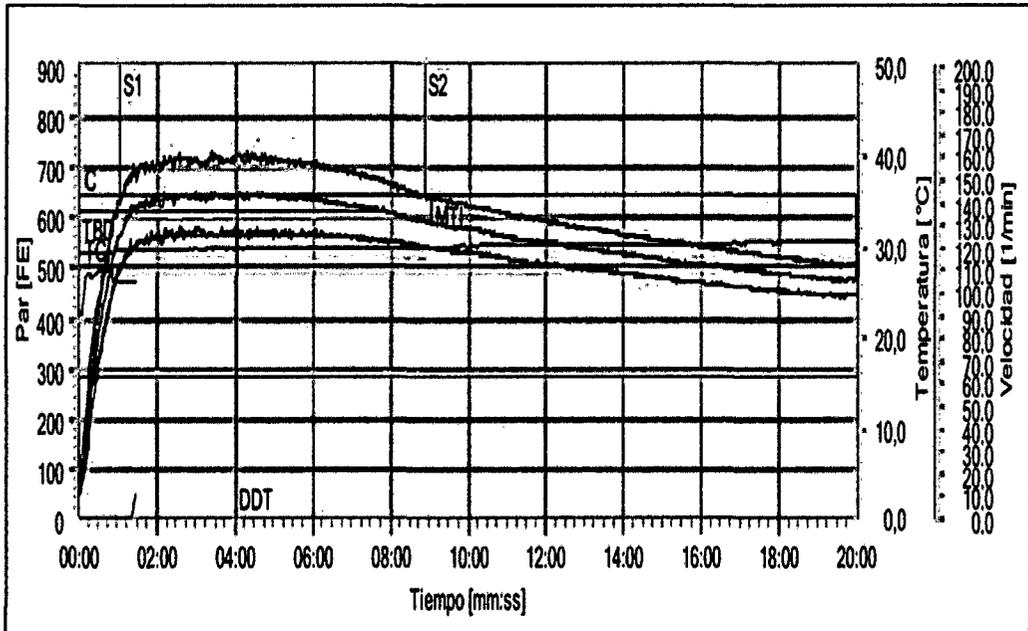


Figura 28: Farinografía de la formulación F1

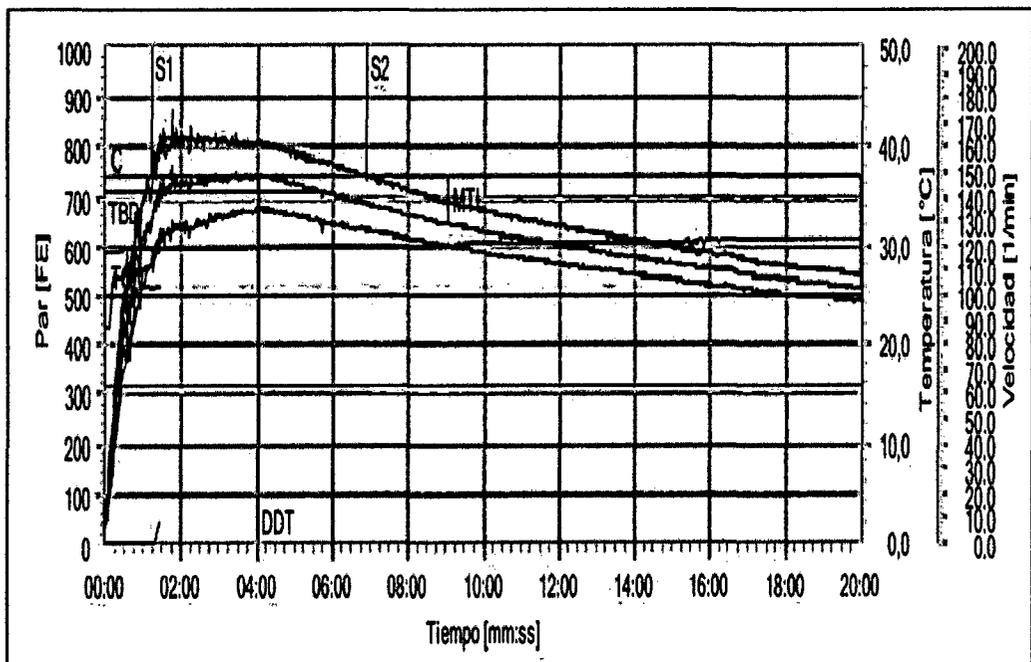


Figura 29: Farinografía de la formulación F2

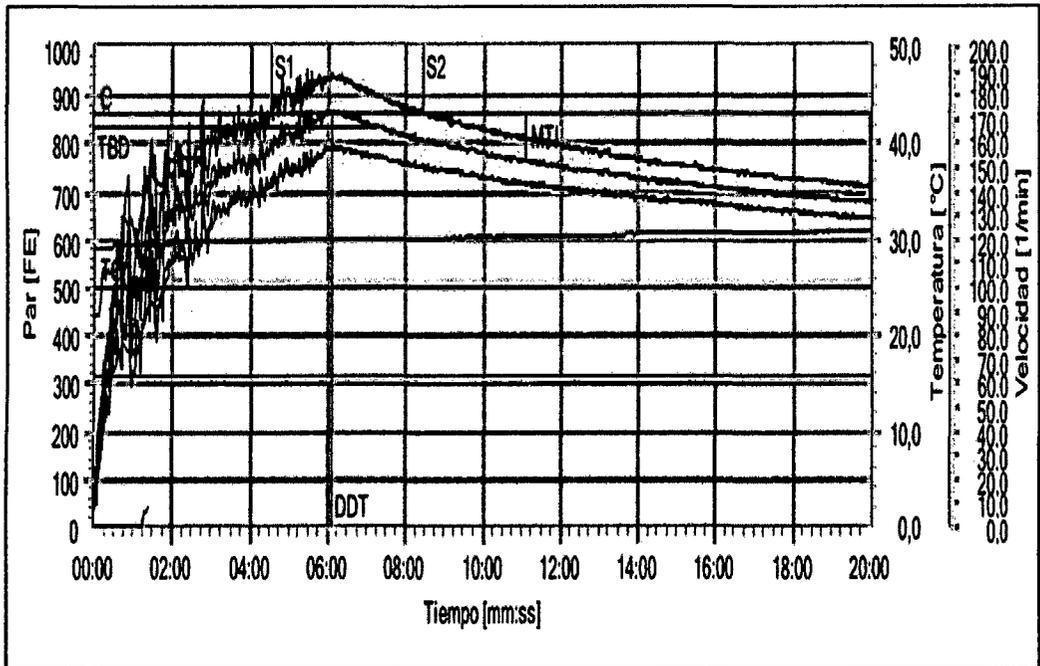


Figura 30: Farinografía de la formulación F3

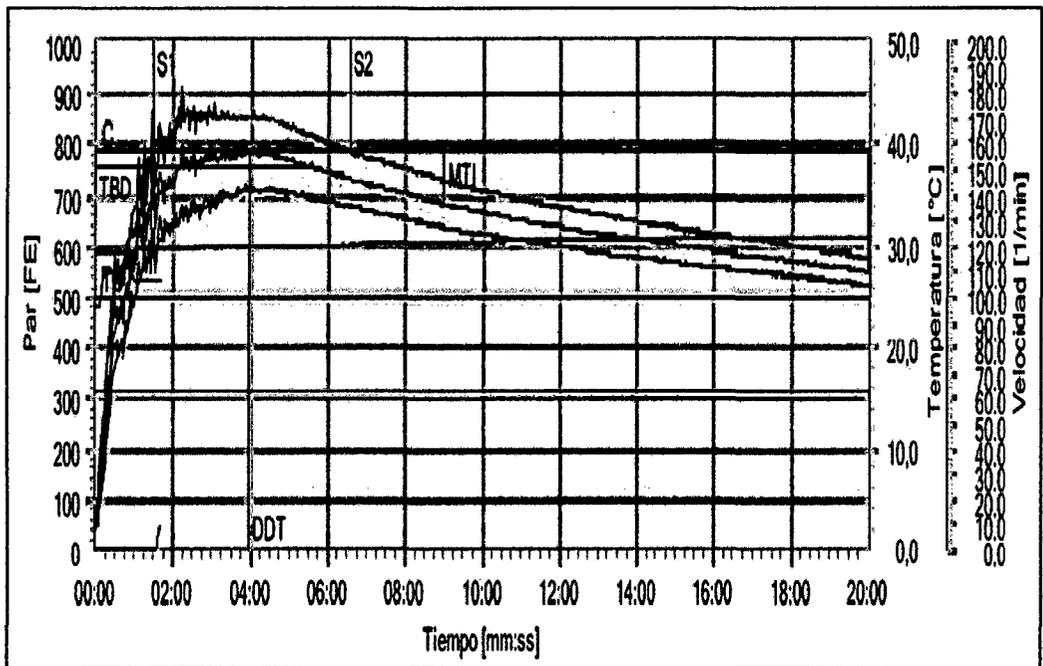


Figura 31: Farinografía de la formulación F4

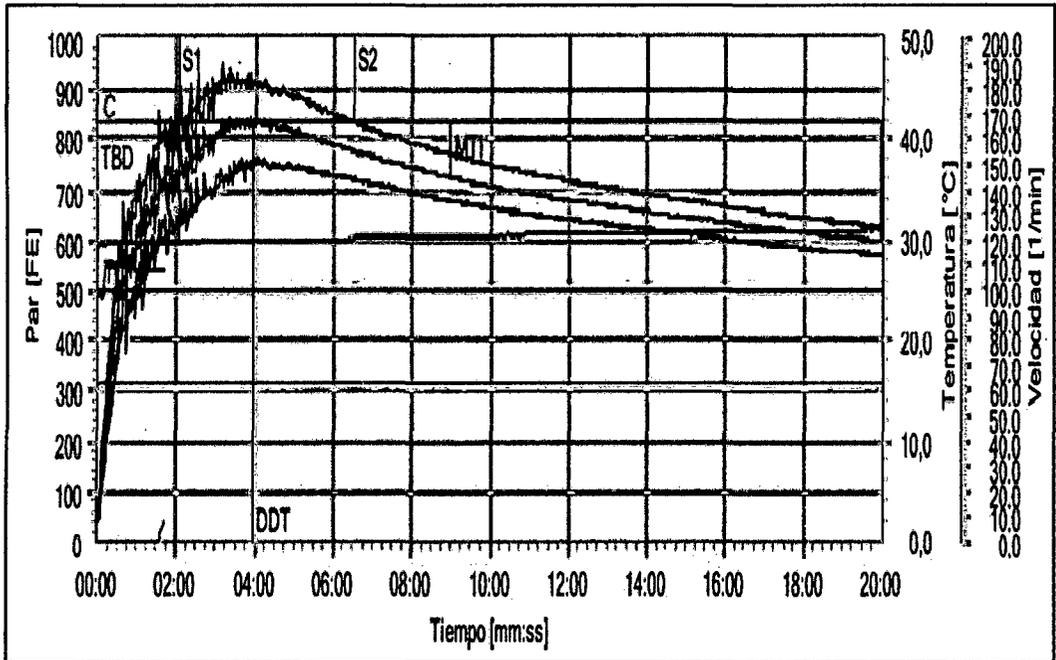


Figura 32: Farinografía de la formulación F5

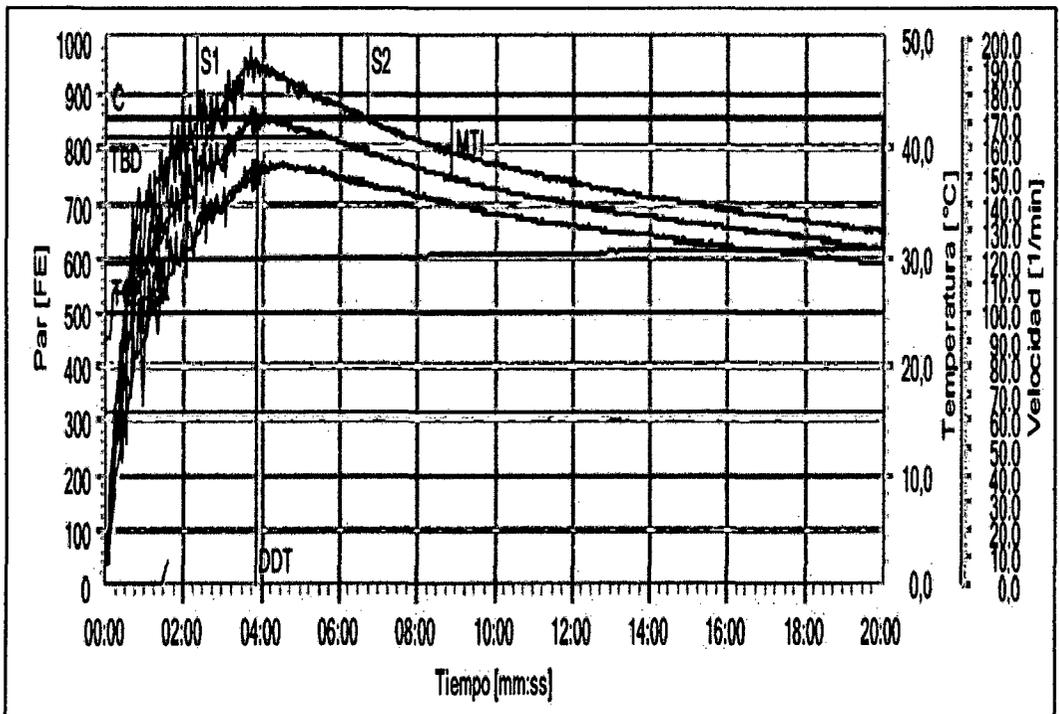


Figura 33: Farinografía de la formulación F6

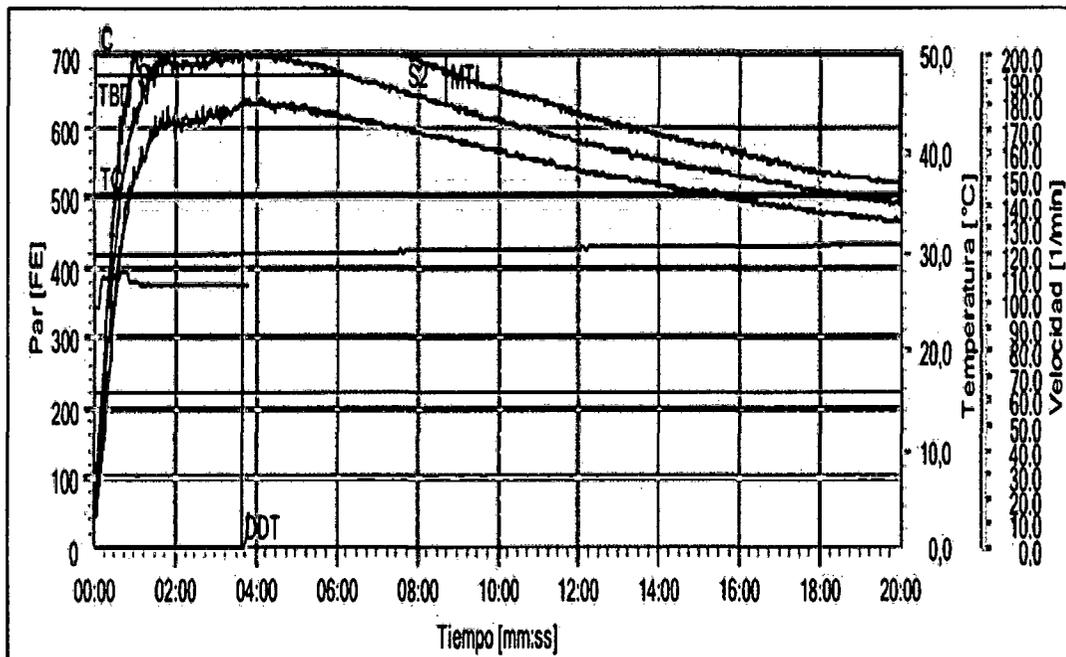


Figura 34: Farinografía de la formulación F7

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 éste. 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. (Stanley, 1998).

Tabla 32: ANOVA de Resistencia a la Extensión

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Efectos Principales					
A: Formulación	5	1.65549E6	331099	11.74	0.000
B: Tiempo	2	576508	288254	10.22	0.000
Residuos	46	1.29691E6	28193.7		
Total (corregido)	53	3.52891E6			

En la tabla 32 figuran los valores-P que prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre resistencia a la extensión con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 33: ANOVA de Extensibilidad

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Efectos Principales					
A: Formulación	5	3667.48	733.496	8.91	0.000
B: Tiempo	2	6023.59	3011.8	36.59	0.000
Residuos	46	3786.63	82.318		
Total (corregido)	53	13477.7			

En la tabla 33 figuran los valores-P que prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la extensibilidad con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 34: ANOVA de Área

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Efectos Principales					
A: Formulación	5	28725.3	5745.07	52.92	0.0000
B: Tiempo	2	1634.78	817.389	7.53	0.0015
Residuos	46	4993.89	108.563		
Total (corregido)	53	35354.0			

En la tabla 34 figuran los valores-P que prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el área con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 35: ANOVA de Máximo Bu

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Efectos Principales					
A: Formulación	5	2.12159E6	424317	18.63	0.0000
B: Tiempo	2	565829	282914	12.42	0.0000
Residuos	46	1.04776E6	22777.4		
Total (corregido)	53	3.73518E6			

En la tabla 35 figuran los valores-P que prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia máxima (BU) con un 95.0% de nivel de confianza.

Es común, en los informes de análisis de harina se presentan únicamente los resultados del último tiempo (135 minutos). Sin embargo, el análisis de los tres tiempos, especialmente en un trabajo de investigación muestra la evolución de estos parámetros en el tiempo, lo que puede simular lo que ocurre en los tiempos de descanso y fermentación en un proceso de panificación. Las características extensográficas de las masas de las formulaciones evaluadas en este estudio se presentan en la tabla 36. La resistencia de la masa del pan a la extensión corresponde a la media de energía necesaria para estirar la masa.

Tabla 36: Resumen de las formulaciones analizadas por extensografía

Formulación	Tiempo de Descanso (min)											
	30				60				90			
	R (BU)	E(mm)	A(cm ²)	M(BU)	R (BU)	E(mm)	A(cm ²)	M(BU)	R (BU)	E(mm)	A(cm ²)	M(BU)
1	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
2	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
4	650±2.4	96±5.2	88±1.0	668±0.4	1022±3.5	87±3.6	112±3.0	1021±1.0	1093±4.0	84±9.4	113±2.9	1093±1.3
5	662±2.16	91±8.1	86±1.8	667±0.5	995±2.4	85±5.4	107±5.1	1002±0.6	880±2.5	80±8.6	87±2.6	888±0.5
6	774±5.1	86±2.8	90±2.2	776±0.2	872±2.2	73±2.8	73±4.4	895±0.4	860±2.0	91±7.9	71±3.7	896±0.04
7	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

(±): *Desviación estándar*

R=*Resistencia a la Extensión (UB)*, E=*Extensibilidad (mm)*, M=*Máximo (BU)*

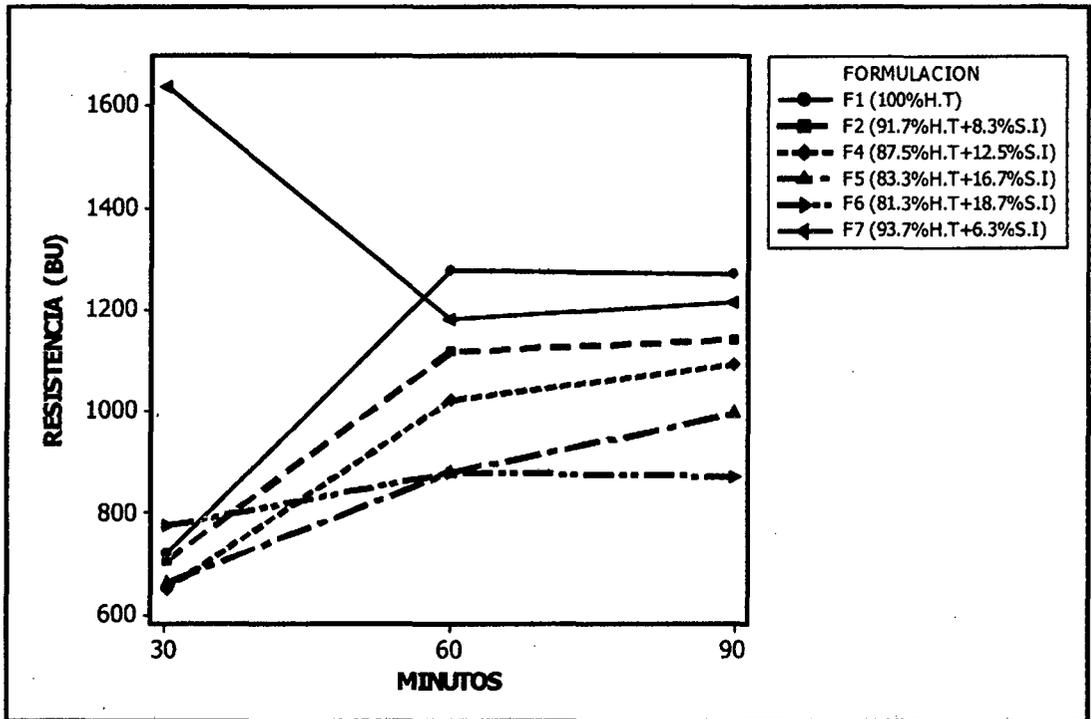


Figura 35: Efecto de la adición de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi en la resistencia (BU)

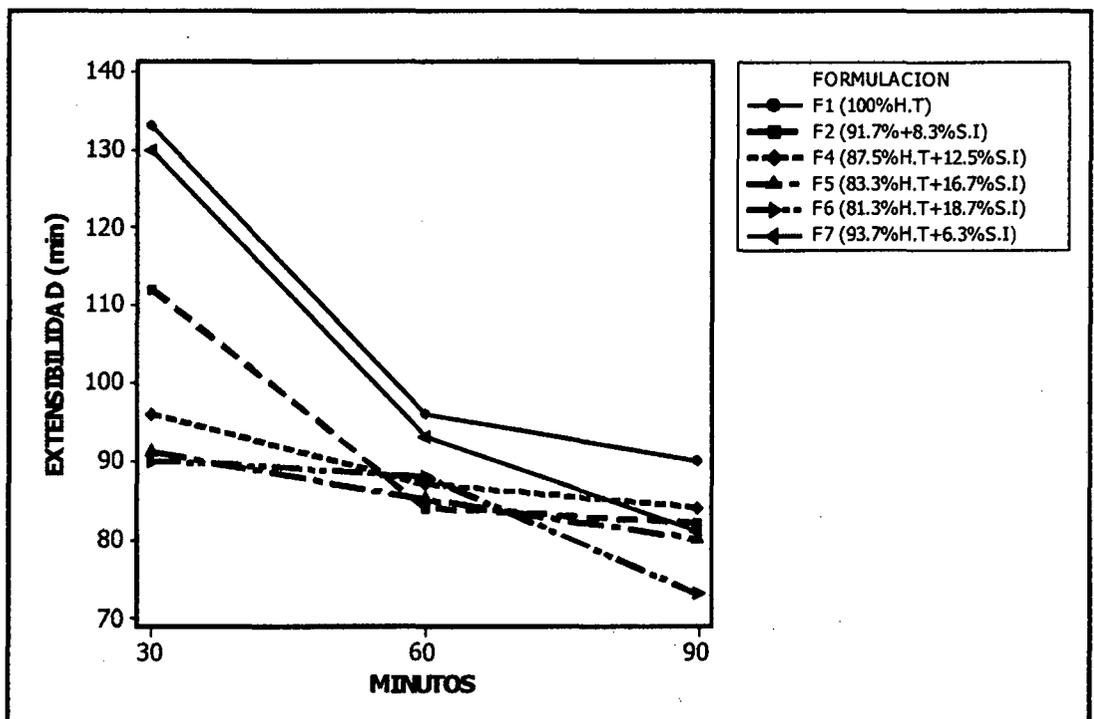


Figura 36: Efecto de la adición de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi en la extensibilidad (mm).

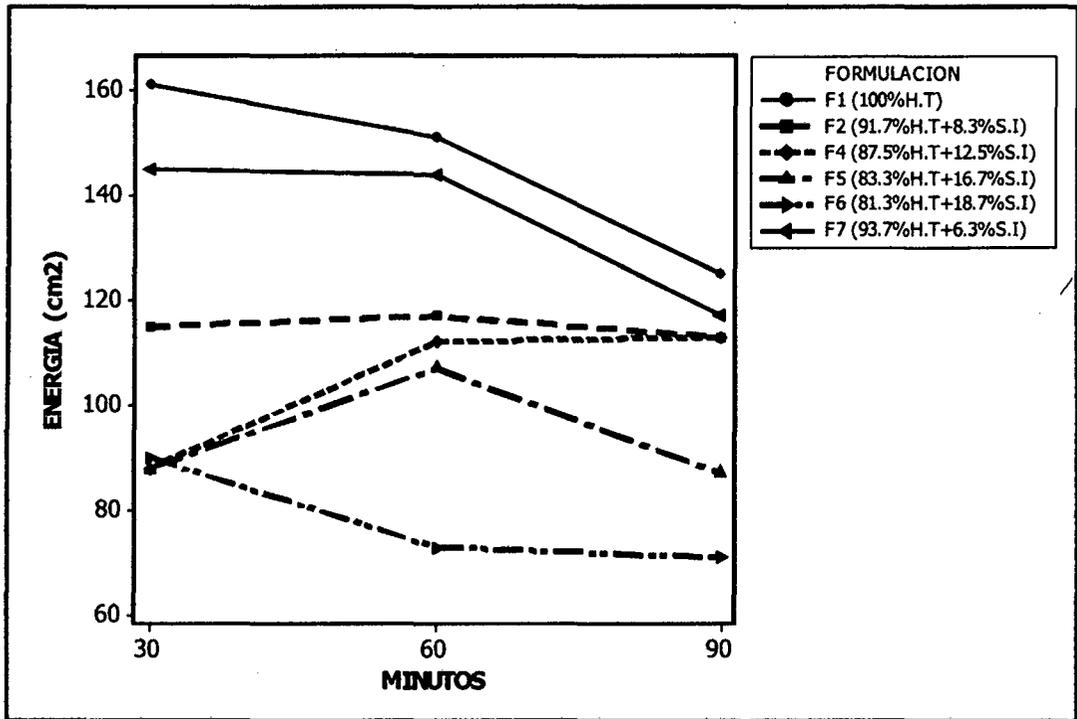


Figura 37: Efecto de la adición de torta desgrasada extruida de sachá inchi en el área (cm²).

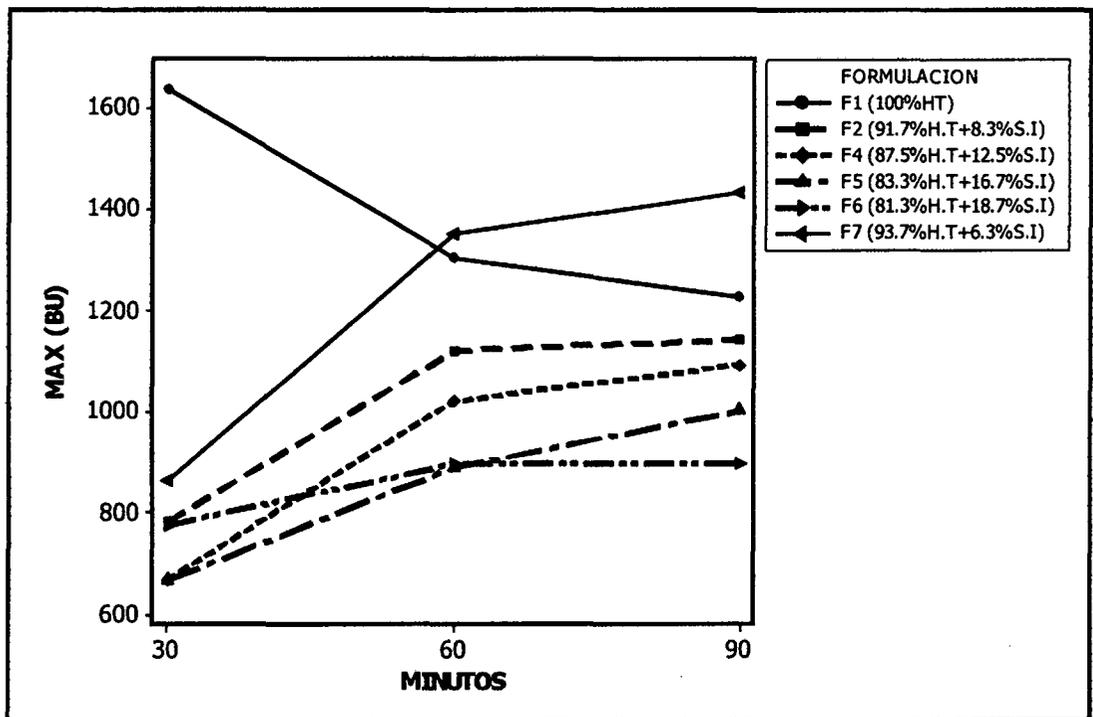


Figura 38: Efecto de la adición de torta desgrasada extruida de sachá inchi en la resistencia máxima (BU)

Los valores de resistencia a la extensión variaron de 1636 a 650 unidades extensográficas (UE), hasta la medición final de 90 minutos. Los valores de resistencia máxima variaron de 1637 a 667 unidades extensográficas (UE). Fueron encontrados mayores valores de resistencia máxima en los tiempos de 60 y 90 minutos para la formulación F7 (con nivel de sustitución de 6.3%) 1432 BU y 1354 BU (figura 35), respectivamente, sin embargo difiere estadísticamente ($p < 0.05$) de la formulación sin sustitución F1, solo en el tiempo de 30 minutos 1637 BU. Esto podría ser atribuido a que el nivel de gluten presente en esta formulación es menor, entonces presenta una mayor resistencia De acuerdo a nuestros resultados de la tabla 36, a los 90 minutos de reposo se observa que la resistencia de las formulaciones con sustitución descendió y la extensibilidad aumentó, por lo que se deduce que dio lugar a masas flojas.

La extensibilidad de la masa afecta en forma directamente proporcional al factor de esparcimiento que sufren las masas cuando están dentro del horno. Una masa con alta resistencia a la extensión y buena extensibilidad se tornara en masa suave y extremadamente elástica. La extensibilidad de la masa es la medida de la distancia que una porción de masa puede ser estirada antes de romperse. Una masa con alta

resistencia a la extensión y poca extensibilidad será dura y rígida, por el contrario una masa con baja resistencia y buena extensibilidad será una masa elástica y suave (Shuey, 1980 citado por Macedo, 1990). La extensibilidad vario entre 133 y 80 mm. El menor valor (80 mm) ocurrió para la formulación F5 en el tiempo de 90 minutos. Donde no difirió significativamente de la formulación F1. El mayor valor (133 mm), ocurrió para la formulación F7 con un nivel de sustitución de 6.3% en el tiempo de 30 minutos, donde no difirió significativamente de la formulación sin sustitución F1 (130 mm). Conforme a la Figura 36. Resultados similares fueron obtenidos por Varanda (2014), quien al sustituir harina de trigo por harina de castaña hasta un 30%, también observo una reducción en los valores de extensibilidad y resistencia a la extensión, 56.3 mm y 399.7 UE respectivamente. Según la autora, la incorporación de harina de castaña reduce la fuerza de las harinas y el mismo efecto puede ser observado en la extensibilidad. Asimismo Oliveira et al. (2007), en su investigación con sustitución parcial con harina de linaza, encontró que, el incremento del contenido de harina de linaza, provocó un debilitamiento del gluten y la masa no conservo la extensibilidad y elasticidad. Asimismo sugiere que si el tiempo de fermentación de masa es demasiado largo, podría haber rompimiento de la red proteica,

dejando escapar el gas de fermentación, perjudicando el desenvolvimiento del pan en el horno y en el volumen final.

Wang et al., refiere que, las fibras interactúan con las proteínas, al actuar como puntos de debilidad o "Estrés", facilitando la ruptura física de la matriz de gluten y, por consiguiente, perjudicando la expansión de la masa durante la fermentación. De acuerdo con Biondi (2003), de modo general, las harinas fuertes presentan valores de número proporcional mayores al 2.5, en cuanto las harinas frágiles presentan número proporcional inferior a 1.0. Los valores característicos de resistencia a la extensión para harinas fuertes y frágiles, respectivamente, son 560 y 130 UE, de resistencia máxima son 840 y 130 UE y de extensibilidad son 155 y 180 mm. De este modo, se constata, considerando los resultados presentados, que todas las muestras analizadas poseen un número proporcional mayor que 2.5 (R/E), característico de harina fuerte.

Si bien no existen datos bibliográficos respecto a los cambios introducidos por la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, 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 et al. (2005) 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.

Tedrus et al. (2011) también observaron baja extensibilidad y elasticidad para una mezcla de harina de avena con gluten vital, demostrando que la mezcla no presentaba las características ideales para la producción de pan. Sin embargo Barrera et al. (2012), refiere que, las propiedades de extensibilidad de las masas cambiaron por efecto del almidón dañado. Se registró un incremento significativo ($p \leq 0,05$) de la resistencia máxima (R_m) y una disminución significativa ($p \leq 0,05$) de la extensibilidad (E) y del trabajo de deformación necesario para extender la masa hasta su ruptura (A). Estos resultados indican que los incrementos en el contenido de almidón dañado produjeron masas más resistentes y menos extensibles.

Si una masa nos muestra mayores valores de área total en los extensogramas, normalmente indican que la misma posee una mejor calidad. Contrariamente, si una masa produce menor área, indica el efecto debilitador de la harina en sustitución sobre las propiedades

extensográficas. De la tabla 36, se observa que la formulación F7 obtuvo la mayor área con 126 cm² seguida por la formulación sin sustitución F1 con 117cm², para el tiempo de 90 minutos. Por el contrario la menor área, la presentó la formulación F6 con 71 cm², con lo que demuestra que hubo un debilitamiento en la estructura proteica con el incremento del nivel de sustitución de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, conforme a la figura 37.

Desafortunadamente, la suplementación de harina de trigo con derivados de soja ricos en proteínas, tales como las harinas desgrasadas, concentrados y aislados proteicos, en altos porcentajes (10% a 20%) provoca problemas en el proceso de elaboración y la calidad de los productos de panificación. Entre los efectos descritos se observan modificaciones de las propiedades reológicas de la masa, de la capacidad de retención de gas de estas, y del volumen y de la textura del producto final. (Dhingra y Jood 2004, Mohamed et al., 2006.) Los efectos negativos incrementan con el aumento en la cantidad de soja adicionada.

Se observó que las proteínas de soya interfieren en forma directa e indirecta en la formación de la red de gluten. El efecto directo está relacionado con la interacción de proteínas de trigo y soja, mientras que el indirecto se

relaciona en la competencia entre las proteínas de soja y trigo por el agua necesaria para su hidratación. (Ribota et al., 2005) Otros investigadores atribuyen los problemas asociados a la calidad a una dilución del gluten. (Doxastackis et al., 2002).

4.2.3.3.1 Gráficas de los análisis extensográficos de las formulaciones

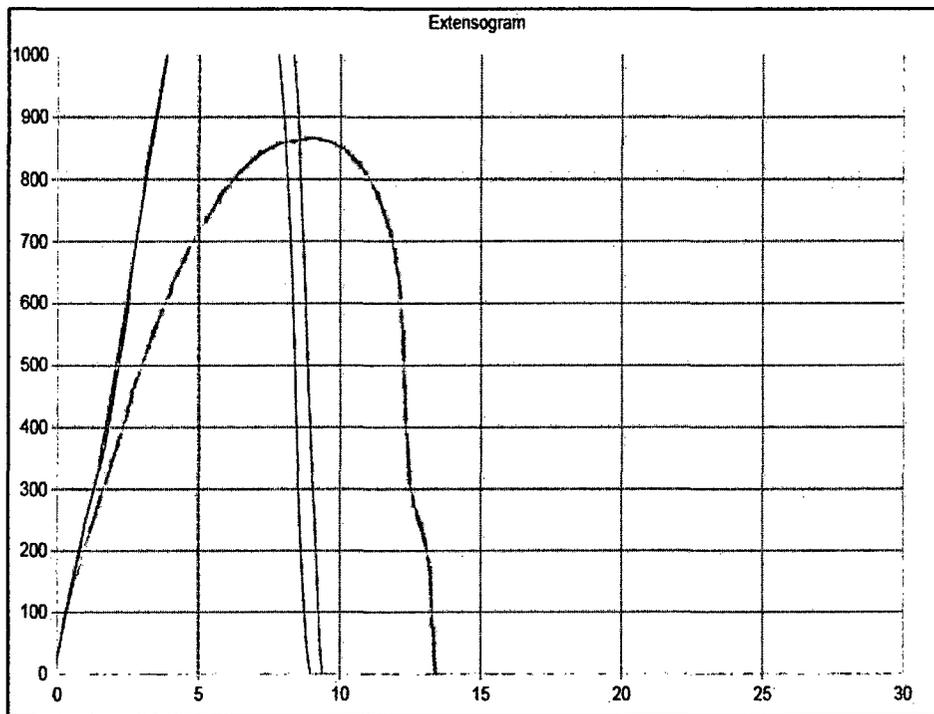


Figura 39: Extensografía de la formulación F1

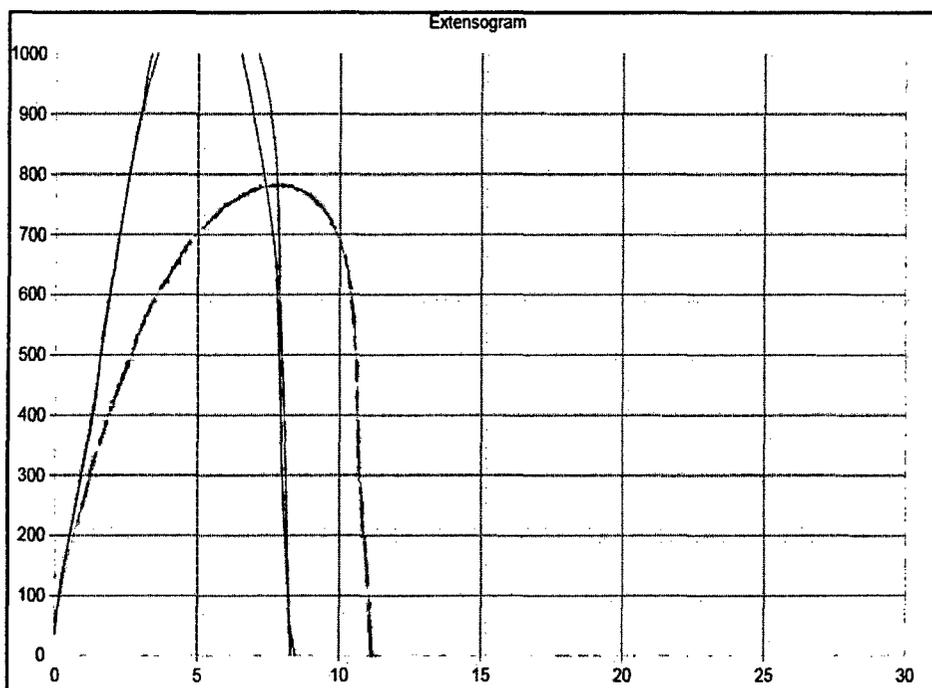


Figura 40: Extensografía de la formulación F2

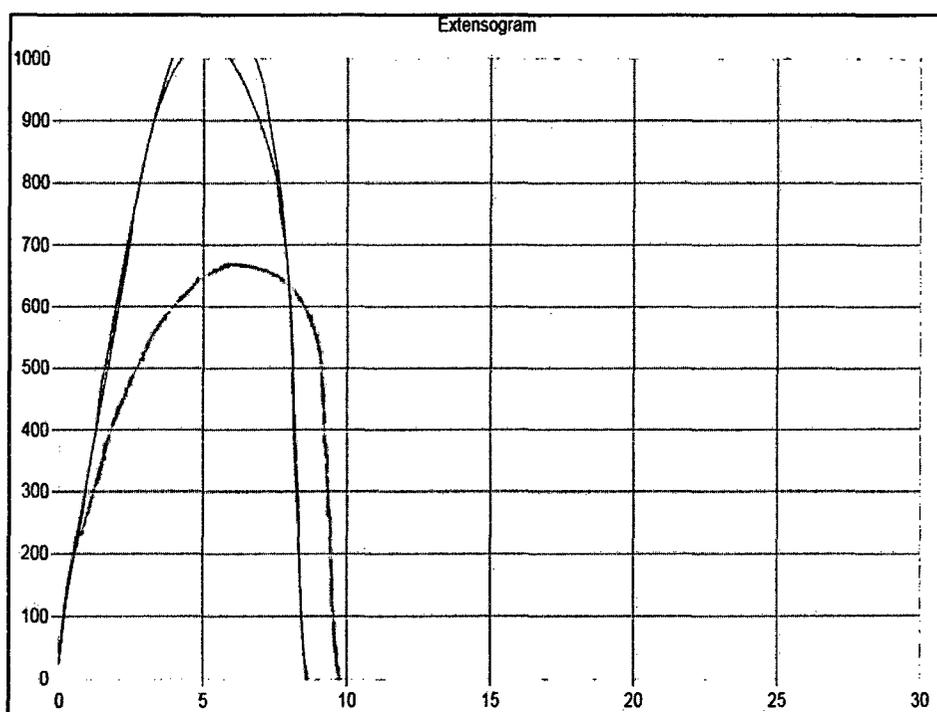


Figura 41: Extensografía de la formulación F4

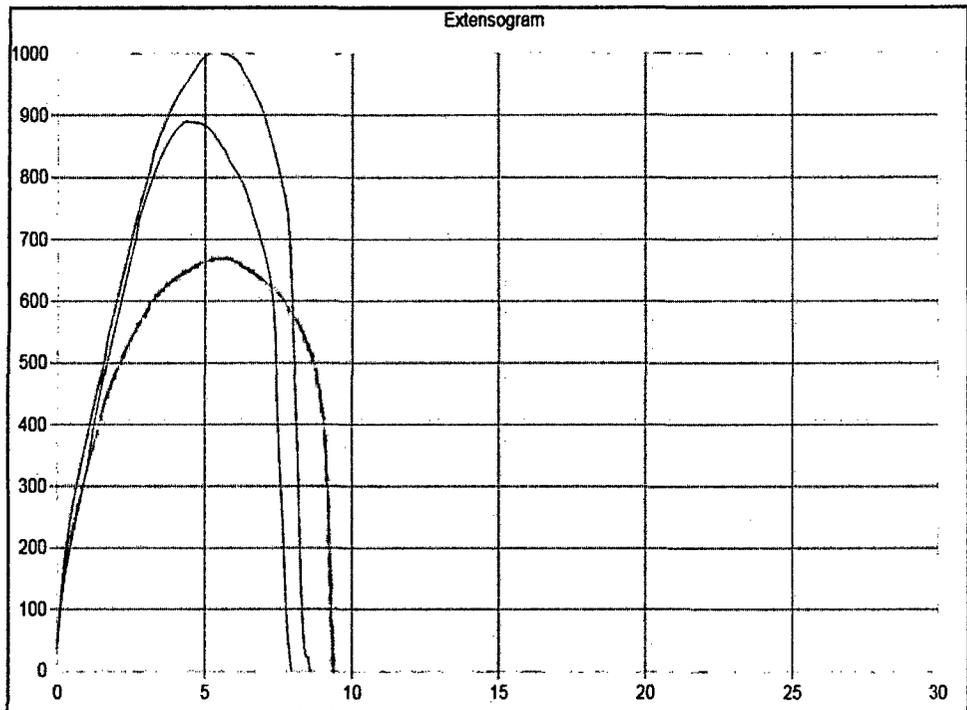


Figura 42: Extensografía de la formulación F5

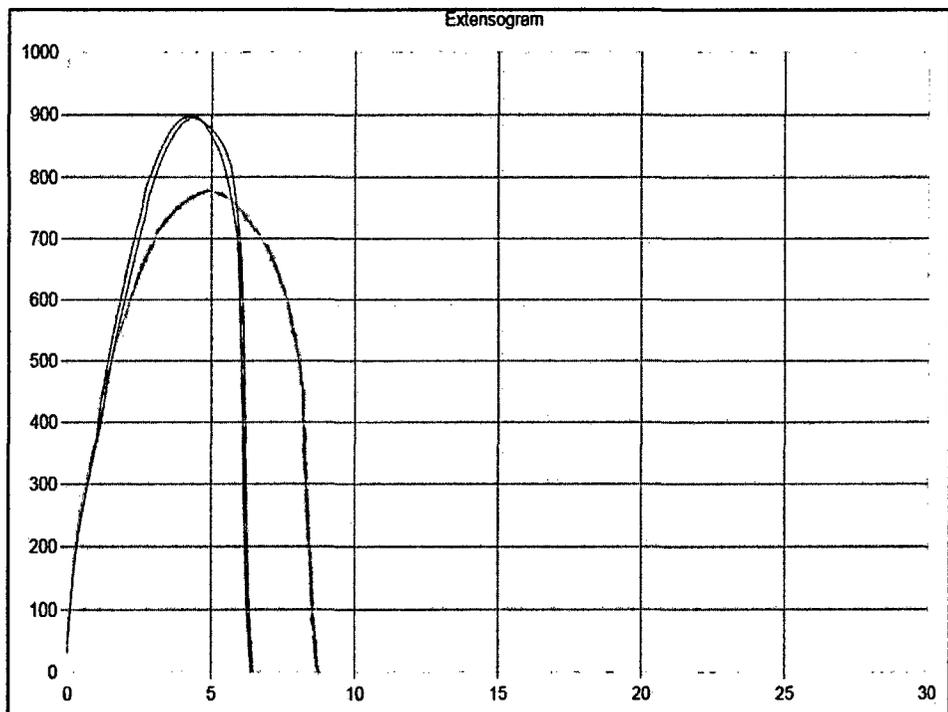


Figura 43: Extensografía de la formulación F6

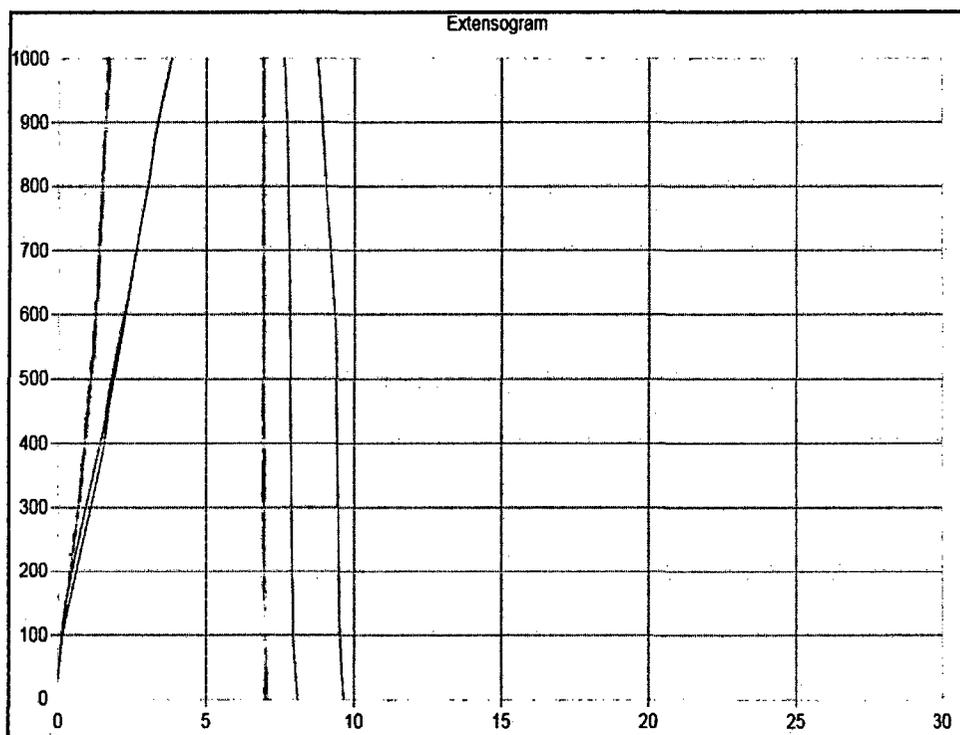


Figura 44: Extensografía de la formulación F7

4.2.4 Cálculo del cómputo químico (CQ)

Se calculó el cómputo químico de las diferentes formulaciones de harina de trigo y torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, se usó como referencia el patrón de los aminoácidos esenciales de la FAO/OMS/UNU (1985). Los resultados se muestran en la tabla 37. Los valores obtenidos son cálculos teóricos, que se obtuvieron a partir de la composición de aminoácidos de la harina de trigo y el Sacha Inchi, que se reportan en la bibliografía.

Teóricamente se indica que las 7 formulaciones presentadas pueden cumplir satisfactoriamente los requerimientos de aminoácidos, excepto la lisina que no cumple en su totalidad, llegando hasta valores de 2.7 g/g de proteína.

Tabla 37: Computo químico para las distintas formulaciones enriquecidas con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

Materia prima	Formulaciones							Patrón de aminoácidos (g/g de proteína)
	1	2	3	4	5	6	7	
Harina de trigo %	100	91.7	75	87.5	83.3	75	81.3	
Torta Desgrasada Extruida de Sacha Inchi %	0	8.3	25	12.5	16.7	25	18.7	
Aminoácidos								
Isoleucina	3.6	3.7	4.0	3.8	3.8	4.0	3.9	3.0
Leucina	6.7	6.7	6.6	6.7	6.6	6.6	6.6	6.1
Lisina	2.2	2.4	2.7	2.5	2.6	2.7	2.6	4.8
Metionina + Cisteina	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	2.3
Fenilalanina + Tirosina	6.3	6.4	6.7	6.5	6.6	6.7	6.6	4.1
Treonina	2.6	2.7	3.0	2.8	2.9	3.0	2.9	2.5
Triptofano	1.1	1.2	1.6	1.3	1.4	1.6	1.4	0.7
Valina	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0

Fuente: WHO/FAO/UNU, 2007

4.3 Evaluación de la calidad de los panes

4.3.1 Textura

Tabla 38: Tabla ANOVA para textura

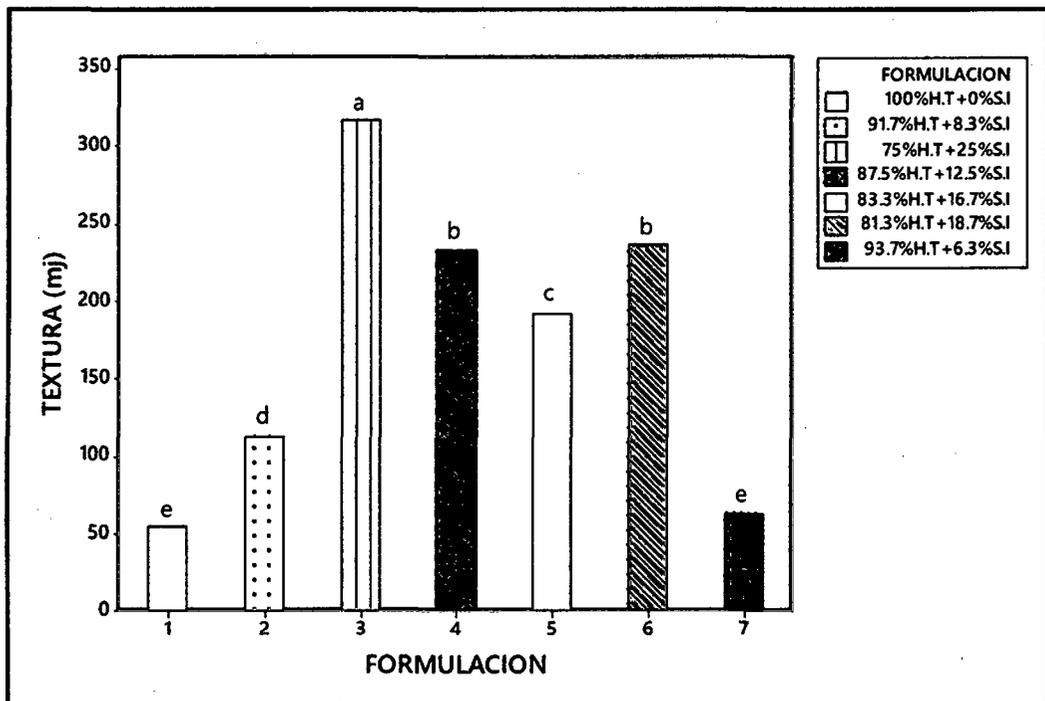
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	290700	48450	127.58	0.000
Error	28	10633	380		
Total	34	301333			

El análisis de varianza presentado en la tabla 38, indica la existencia de diferencias significativas entre las formulaciones de pan cuyo valor $p=0.000$, menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$)

Los resultados se muestran en la tabla 39. Para este estudio los resultados indican que a medida que se incrementó el contenido de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi afectó negativamente la textura del pan.

Tabla 39: Valores obtenidos para textura

Formulación	Textura (mj)
F3	321.3 ^a
F4	231.69 ^b
F6	230.0 ^b
F5	192.19 ^c
F2	111.23 ^d
F7	61.39 ^e
F1	56.43 ^e



Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Figura 45: Gráfico de barras para la Textura de pan de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.

De acuerdo a la figura 45, la media de la formulación F3 (75%harina de trigo + 25% torta desgrasada extruida de Sacha Inchi) obtuvo el valor más alto, por otro lado el menor valor corresponde a la formulación F1 (100% harina de trigo). Los resultados indican que no existe diferencias significativas entre las formulaciones F1 (100 % harina de trigo) y F7(93.7% harina de trigo + 6.3% torta desgrasada extruida de Sacha Inchi) del mismo modo las formulaciones F6 (81.3% harina de trigo + 18.7% torta desgrasada de Sacha Inchi) y F4 (87.5% harina de trigo + 12.5% torta desgrasada extruida de Sacha Inchi) obtuvieron el mismo resultado (figura 45). Similares resultados

fueron reportados por (Demikersen I., 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.

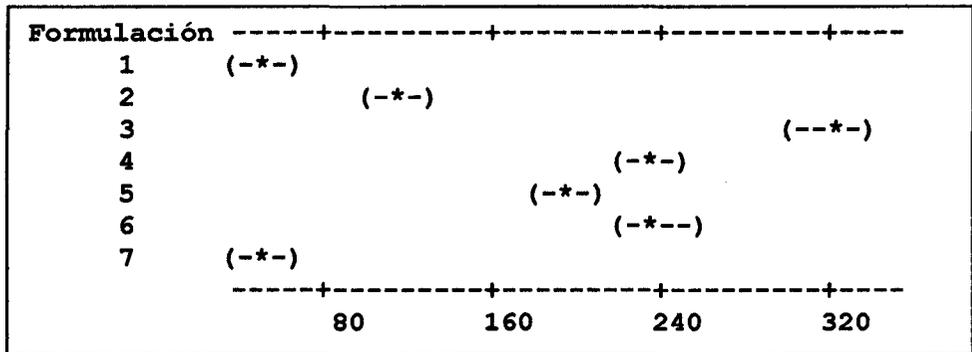


Figura 46: Gráfico de comparaciones de Tuckey para la textura

De acuerdo a nuestros resultados, el aumento de la firmeza de los panes con la inclusión de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi 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.

En la figura 47 se observa que la mediana de textura es más alta para la formulación F3 (344.05). Sin embargo, esta formulación es también la que demuestra mayor variabilidad, con un rango intercuartil de 80.76. Las formulaciones F4 y F6 tienen medianas similares (230.38 y 242.03, respectivamente).

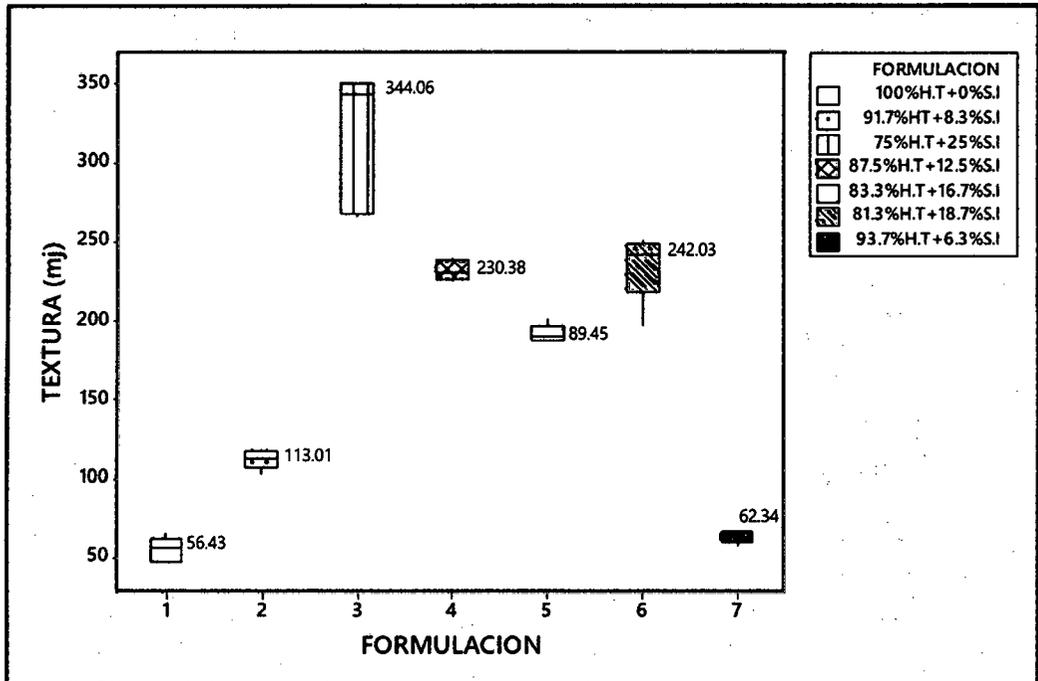


Figura 47: Gráfico de cajas para la textura

Además, la distribución tiene una asimetría negativa para F6, con al menos una medición de textura de aproximadamente 190 mJ. La formulación F7 muestra la menor variabilidad con un rango intercuartil de 8.24. La mediana de textura para la formulación F1 es 56.43 con asimetría positiva, con rangos intercuantiles de aproximadamente 19.04.

4.3.2 Volumen específico

Tabla 40: Tabla ANOVA para el volumen específico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	10.11831	1.68639	1117.49	0.000
Error	29	0.04376	0.00151		
Total	35	10.16207			

Los resultados de la tabla ANOVA (tabla 40), muestran que la adición de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi provocó una significativa disminución en los valores de volumen específico de las muestras de pan ($p < 0.05$).

Se observa una marcada disminución en el volumen específico de los panes, con el incremento de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi en las formulaciones. (Tabla 41).

Tabla 41: Resultados para el volumen específico

Formulación	Volumen Especifico
F1	3.08±0.2 a
F2	2.29±0.08b
F7	2.28±0.5b
F5	1.91±0.21c
F4	1.84±0.7c
F6	1.59±0.14d
F3	1.31±0.5e

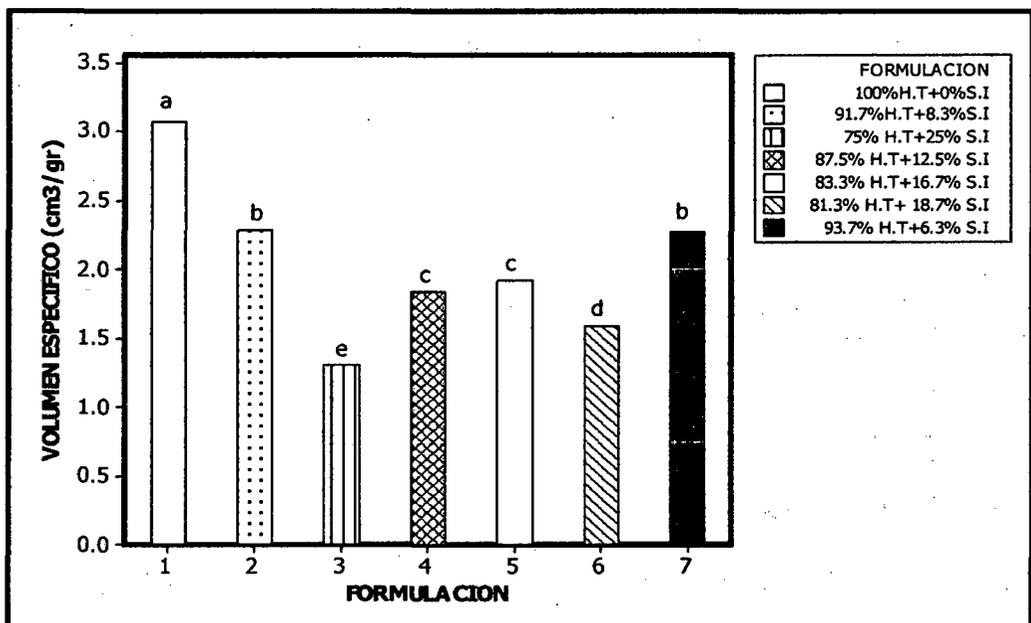
(±): *Desviación estándar*

Las medias con letras diferentes en la columna presentan diferencias significativas ($p < 0.05$)

Los resultados de la tabla 41 muestran que, el mayor volumen lo obtuvo la formulación F1 (100% harina de trigo) por el contrario el menor valor lo obtuvo la formulación F3 (75.0%

harina de trigo + 25.0% torta desgrasada extruida de Sacha Inchi) (figura 20 y 23), esto podría atribuirse a su pobre calidad en la panificación y a un alto contenido en fibra del Sacha Inchi, que impiden la expansión de la red de gluten y el desarrollo adecuado de la masa.

En la figura 48, se muestran los resultados la prueba de significación tuckey a un nivel de significancia del 5%.



Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Figura 48: Volumen específico de pan de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

Benasi et al, 1997, refiere que, las características de fermentación podrían ser alteradas, dependiendo del contenido de azúcares, del almidón dañado y de las enzimas presentes en la harina adicionada, así como la capacidad de la masa en retener el gas producido. 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 tendera a disminuir con un aumento del nivel de sustitución, acompañada con una rotura.

Dervas et al., (1999) y Doxastakis et al., (2002), mencionado por Mohammed et al., (2012) también reportaron una disminución en el volumen del pan con el aumento de los niveles de harina de soya y atribuyo esta disminución a la dilución del gluten de trigo con la proteína de la leguminosa.

Ferreira (2002) afirmó que, cuanto mayor sea el volumen específico del pan de molde mayor es su aceptación. El volumen específico es afectado por varios factores como la calidad de los ingredientes usados en la formulación de la masa, especialmente la harina, y los tratamientos usados durante el procesamiento (EL-DASH y Camargo, 1982).

La mediana de volumen específico es más alta para la formulación F1 (3.08), asimismo presenta la mayor variabilidad, con un rango intercuartil de 0.08. Por el contrario la mediana de volumen específico es más baja para la formulación F3 (1.32). Las formulaciones F2 y F7 tienen medianas iguales de 2.29

presentando ambas asimetría positiva. Asimismo las formulaciones F4 y F5 presentan medianas similares de 1.84 y 1.91, respectivamente, donde F5 presenta la menor variabilidad con rango intercuartil de 0.05. (Figura 49)

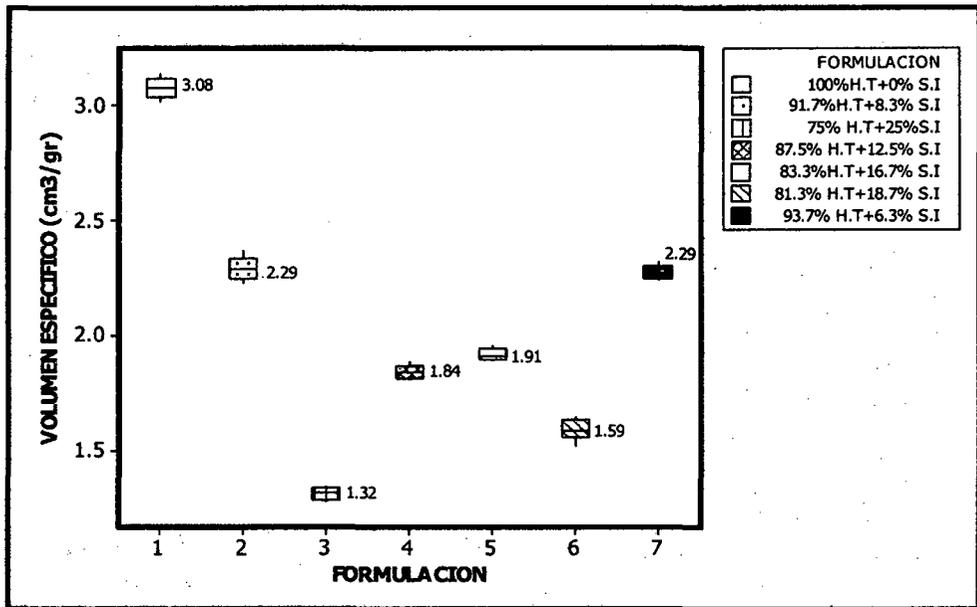


Figura 49: Gráfico de cajas para el volumen específico de pan con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

Del análisis de comparación de medias de la tabla 41, también se observa que no existen diferencias significativas entre las formulaciones F2 y F7. (Figura 50).

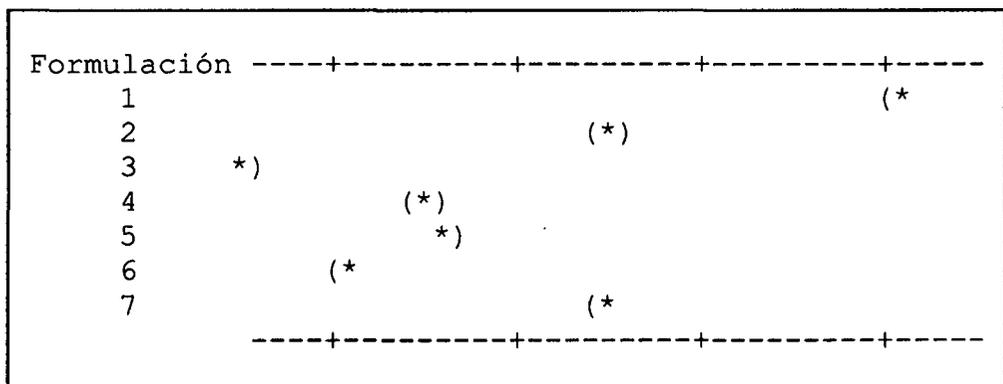


Figura 50: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el volumen específico

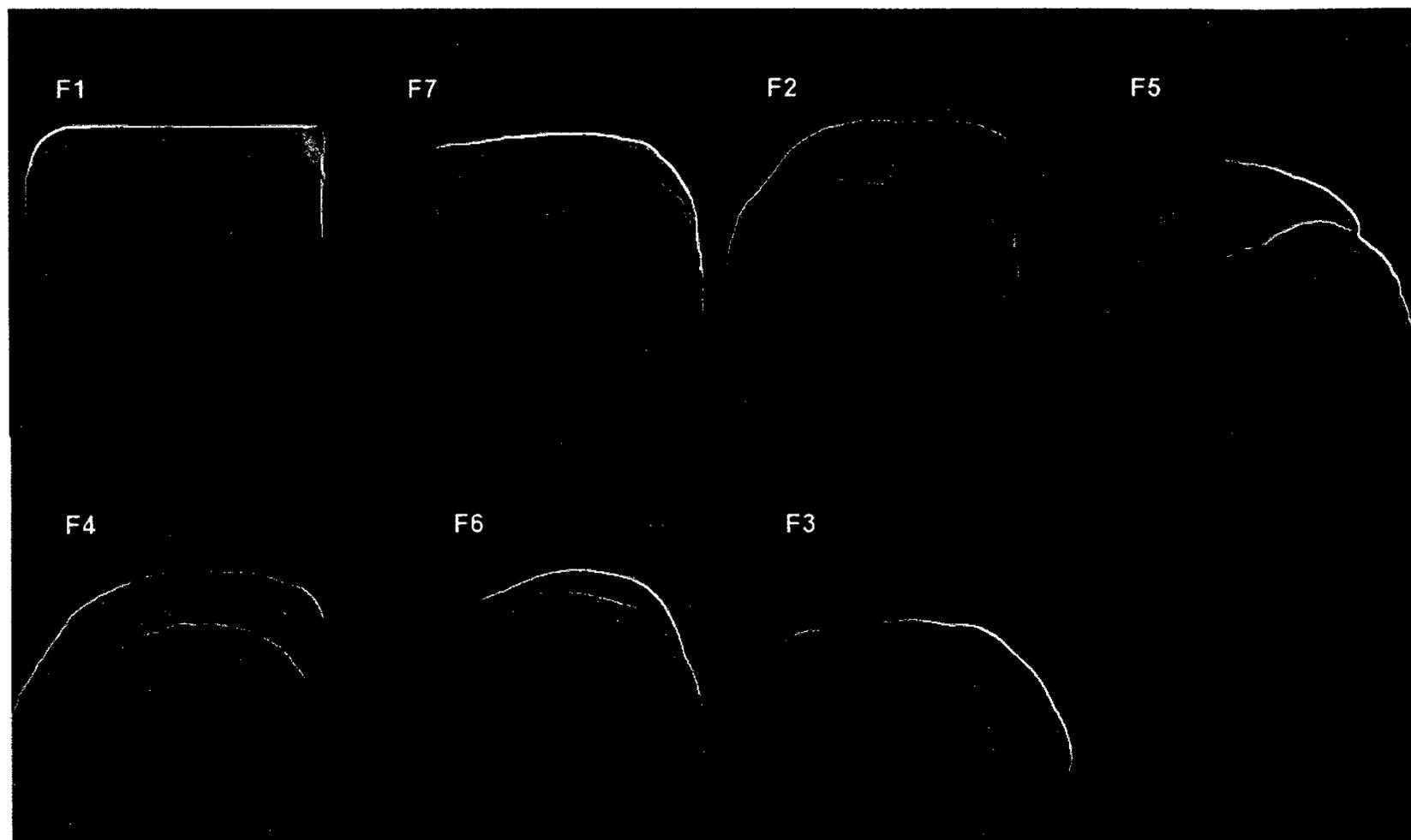


Figura 51: Muestras de pan en los diferentes niveles con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

4.3.3 Análisis químico proximal de los panes

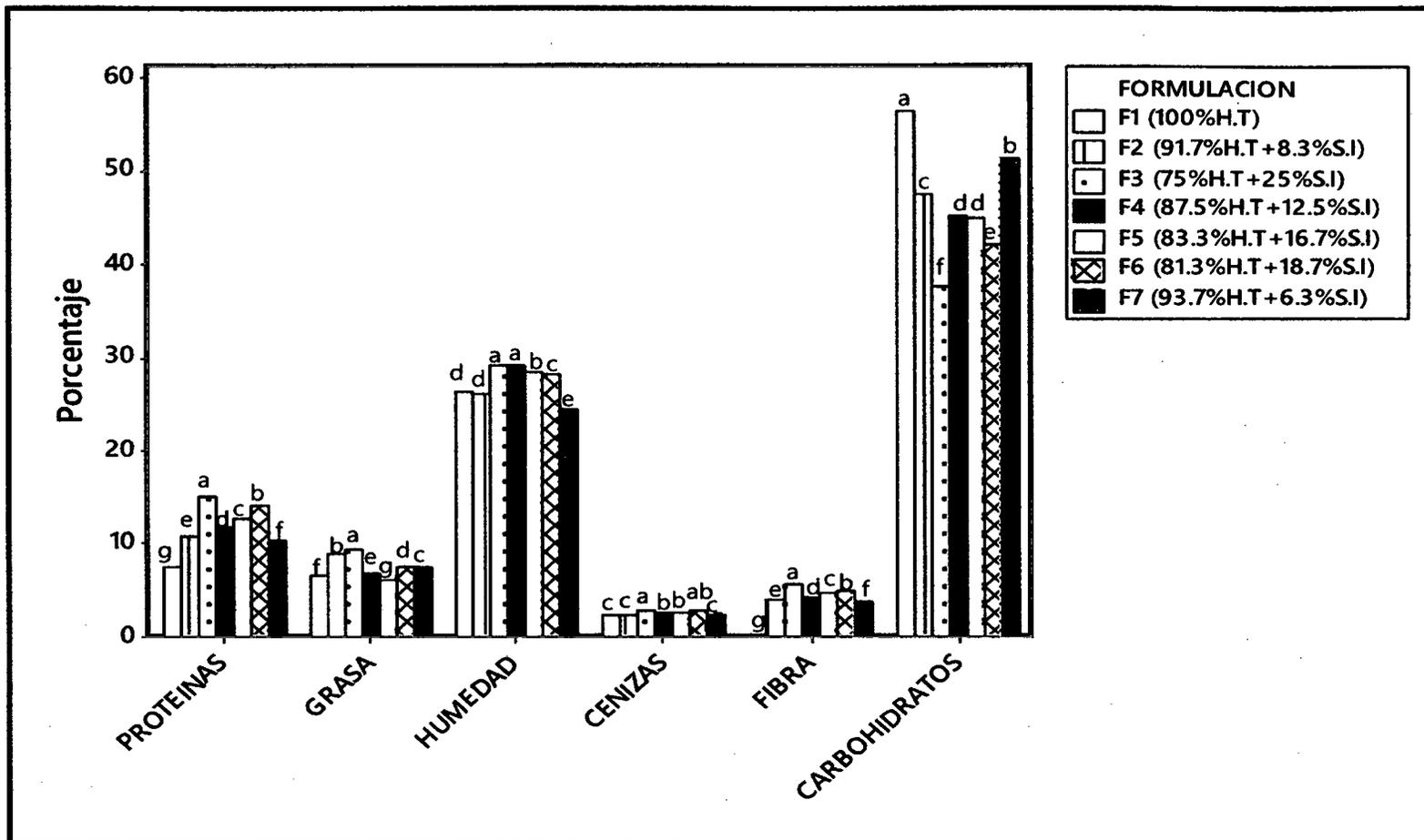
En la tabla 42, se presentan los resultados de los análisis químicos y el valor calórico de los panes desarrollados con la adición de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, los cuales tuvieron un incremento del valor nutricional. La incorporación de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi en las formulaciones incrementó ($p < 0.05$) los niveles de cenizas, fibra y grasas y proteínas, asimismo disminuyó ($p < 0.05$) el contenido de carbohidratos éstos comparados al pan control (F1).

Tabla 42: Composición química de los panes elaborados con adición de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, en las diferentes formulaciones

Formulación	Proteínas	Grasas	Humedad	Cenizas	Fibra	Carbohidratos	Valor
							Energético (Kcal)
F1	7.51±0.1g	6.67±0.5f	26.50±0.4d	2.30±0.5c	0.35±0.05g	56.67±0.5a*	316.75
F2	10.85±0.2e	8.86±0.8b	26.30±0.2d	2.37±0.6c	4.02±0.05e	47.62±0.7c*	313.62
F3	15.12±0.5a	9.46±1.0a	29.17±0.5a	2.87±0.3 ^a	5.55±0.05 ^a	37.83±0.6f*	296.94
F4	11.83±0.7d	6.81±0.4e	29.30±0.4a	2.63±0.6b	4.20±0.05d	45.23±0.8d*	289.53
F5	12.75±1.0c	6.15±0.7g	28.67±0.6b	2.63±0.3b	4.60±0.05c	45.2±1.0d*	287.15
F6	14.10±0.3b	7.48±1.1d	28.37±0.5c	2.73±0.7ab	5.04±0.05bb	42.32±1.1e*	293.0
F7	10.34±0.8f	7.67±0.3c	24.47±0.9e	2.32±0.5c	3.82±0.05f	51.4±0.4b*	315.99

(±): Desviación estándar

Las medias con las letras diferentes en la columna presentan diferencias significativas ($p < 0.05$)



Las medias con letras diferentes presentan diferencias significativas ($p < 0.05$)

Figura 52: Gráfico de barras químico-proximal de los panes enriquecidos con torta desgrasada extruída de Sacha Inchi

En general, el pan blanco tiene un bajo contenido de minerales y debe ser suplementada para satisfacer los requerimientos diarios de la mayoría de los elementos (Skrbic y Filipecv, 2008 citados por Silveira et al., 2014). El contenido de cenizas se incrementó significativamente con la adición de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi. En la tabla, se observa que el (F3) presentó la mayor valor para las cenizas (2.87%). Conforme a lo esperado, la muestra de pan sin sustitución (F1) presentó el menor contenido (2.30%). Eso es explicado porque la harina de trigo se obtiene de la molienda de trigo con baja tasa de extracción. El grado de extracción influencia fuertemente en el contenido de cenizas de una harina; aquella que contiene mayor grado de extracción, presentara un mayor contenido en cenizas (Germani, 2003). Asimismo, el contenido de cenizas se incrementó con la aportación del contenido de cenizas de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi tal como lo muestra la tabla 42. La RM N°1020-2010/MINSA, establece el valor de 4% como límite máximo en el contenido de cenizas del pan de molde. De acuerdo a los resultados de la tabla los valores para cenizas estuvieron dentro del rango estipulado.

La incorporación de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi en las formulaciones incrementó el contenido total de fibra. Éste incremento fue más evidente en la formulación F3, 16 veces superior al contenido de fibra del pan control (F1) Tabla 42. Estos resultados son similares a los obtenidos por Silveira et al. (2014), en panes

preparados con sustitución parcial de harina de chía en los niveles de 7.8% y 11%, incrementando el contenido en fibra en 6.67 y 19 veces, respectivamente comparados del pan control.

Como es sabido, el contenido de fibra en un alimento es esencial en la dieta del ser humano. Su función principal es que tiene la capacidad de hincharse al absorber agua y, por lo tanto, de aumentar el volumen de la materia fecal; esto provoca un incremento en los movimientos peristálticos del intestino y facilita el tránsito, la distensión intestinal y, consecuentemente, la defecación; es decir su acción primaria se lleva a cabo precisamente en el colon del ser humano (Badui, 2006). El aumento de la fibra y el bajo contenido de carbohidratos en la composición de los panes tienen efectos beneficiosos para la salud, que ayudan a la digestión del pan en el colon y reducen el estreñimiento que a menudo está asociada con el consumo de pan producido a partir de harina refinada. (Jideani y Onwubali, 2009; Elleuch et al., 2011). Otros estudios refieren que, la fibra dietética juega un papel importante en la prevención de varias enfermedades tales como, enfermedades cardiovasculares, estreñimiento, colon irritable, cáncer y diabetes (Slavin, 2005; Elleuch et al., 2011).

En Brasil, un alimento es considerado de tener propiedades funcionales tales como mejorar las funciones del tracto intestinal, cuando la porción del alimento que se consume proporciona al menos 3gr. de fibra por 100 gr. de alimento sólido. (Anonymus,

1998). En éste estudio, todas las formulaciones con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha inchi, podrían ser consideradas como alimentos funcionales dado a su elevado contenido en fibra. Además, el contenido de fibra en la composición de éstos panes, estuvo dentro del rango recomendado por la FAO/WHO, 1994, (no más de 6 g. de fibra dietética por 100 gramos de materia seca) (Tabla 42).

Los hidratos de carbono se consideran, en general, estables frente a la cocción. No obstante hay algunas pérdidas por solubilización. (Gil, 2010). El contenido de carbohidratos y los valores de energía fue más alto en la formulación F1 (56.67% y 316 Kcal) y más bajo en la formulación F5 (45.2% y 287.15 Kcal) respectivamente. De la tabla, los valores bajos en hidratos de carbono y energía son como resultado del bajo contenido de grasa en la composición de los panes. Los resultados de los valores calóricos en todas las formulaciones presentaron valores en el rango de 287Kcal a 316Kcal, menores a lo estipulado por la Tabla de composición de alimentos, 2009, que establece 317 Kcal como máximo valor.

El valor calórico en todas las formulaciones fueron menores en comparación al pan control. Nuestros resultados fueron menores a los obtenidos por Justo et al. (2007) en panes que contenían soya: chíá (10:5), soya: chíá: linaza (10:5:5), con valores de 422.3 y 419.1 Kcal/100g. De acuerdo con Stauffer (1990), existen dos razones para adicionar fibras en los panes, siendo la primera, el aumento del

contenido de fibra alimentaria, y la segunda, la disminución del contenido calórico de los panes.

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 (Akthar et al., 2008; Elleuch et al., 2011; Maneju et al., 2011).

La RM N°1020-2010/MINSA, establece el límite máximo de humedad permitida para panes elaborados exclusivamente con harina de trigo de 40%. De acuerdo a nuestros resultados, todas las formulaciones reportaron valores menores al 40% de humedad. 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 (Gutkoski, 2002). Además de eso, la alta humedad señala a los productos de panificación pegajosos (Esteller y Lannes, 2005), favoreciendo el crecimiento de microorganismos, o que puedan interferir en la vida útil.

Los lípidos representan un papel muy importante en la alimentación: nutricionalmente aportan energía y componentes esenciales, entre ellos los ácidos linoleico (Ω -6, dos dobles ligaduras) y linolénico (Ω -3, tres dobles ligaduras) y vitaminas liposolubles. Además dan textura y sabor, forman emulsiones, y se utilizan como medio de

cocción en las frituras. Los fosfolípidos, como la lecitina de soja, se utilizan mucho como emulsificantes. Cuando los lípidos se alteran, la calidad de los alimentos se ve afectada desde el punto de vista de sus propiedades organolépticas, nutricionales y funcionales. Los resultados de la tabla 42 muestra que, el contenido en grasa también incremento de 6.68% a 9.47% en la composición de los panes producidos con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi. La torta producida viene de una semilla oleaginosa, ha contribuido la mayor parte del contenido de grasas del producto. El alto contenido de grasa en la composición del pan afecta la estabilidad en el almacenamiento. (Weiss, 2000; Poter y Hotchkiss, 2006).

En la composición química de los panes experimentales se observa un alto contenido de proteínas el cual se debe principalmente a la aportación de la torta desgrasada extruida de sachu inchi (55.71%). El contenido de proteínas en las muestras de pan, varían en el rango de 7.51%(F1) a 15.12%(F3). Los valores de proteínas para este estudio superan a lo establecido en las Tablas peruanas de composición de alimentos (2009) para el pan de molde tradicional (6.80g de proteína/100g), lo que indica que tienen un mejor valor nutritivo.

De acuerdo a Pomeranz (1987), el contenido de proteína de trigo está directamente relacionado al volumen del pan producido a partir de ello es citado como uno de los principales indicadores de calidad de uso final de la harina. Además, según Gutkoski y Jakoben (2002), la cantidad de proteína está relacionada a la capacidad de formación de la masa, cuando son mezcladas harina de trigo y agua, el resultado es la formación de una masa constituida de red proteica de gluten ligado a los gránulos de almidón que retienen el gas carbónico producido durante el proceso de fermentación, y permitiendo la retención del gas formado y aumentando el volumen.

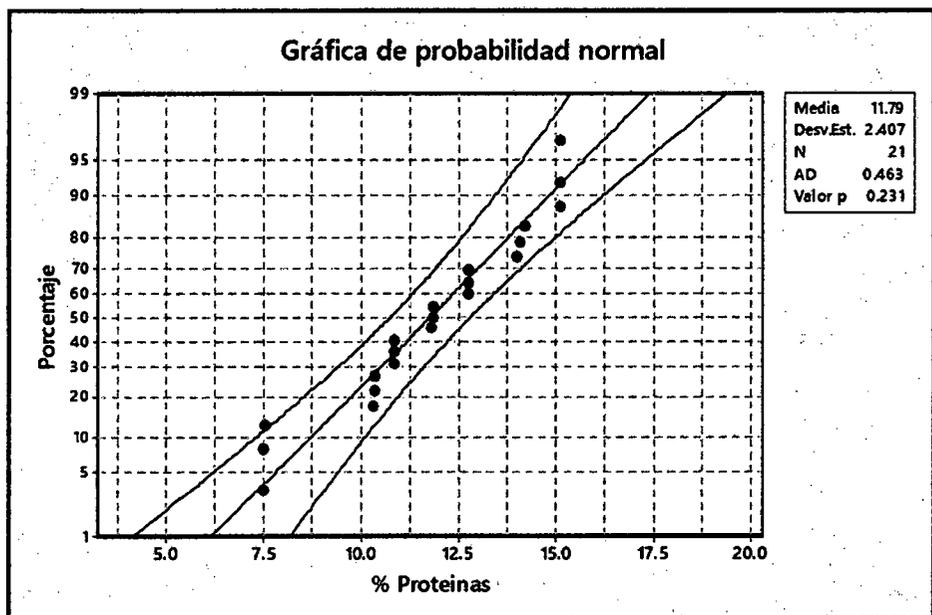


Figura 53: Probabilidad Normal de la variable de Respuesta % Proteína

Una distribución normal con una media de 11.79 y una desviación estándar de 2.4 parece ajustarse adecuadamente a los datos de la muestra. Los puntos graficados forman una línea razonablemente

recta. Los puntos graficados siguen la línea de distribución ajustada. El valor p para la prueba Anderson-Darling se ubica por encima de 0.05.

4.3.4 Evaluación del color de la miga y la corteza

El color es una característica importante para los productos horneados porque, junto con la textura y aroma, contribuye en la preferencia del consumidor. Depende de características fisicoquímicas de la masa (contenido de agua, pH, azúcares reductores y contenido de aminoácidos) y en condiciones de funcionamiento aplicadas durante la cocción como temperatura, humedad relativa, modo de transferencia de calor. (Estellar y Lannes, 2008).

Tabla 43: Cuadro resumen de los parámetros de color para la miga

Formulación	Miga			Corteza		
	L*	C*	h°	L*	C*	h°
F1	77.76±0.4a	13.20±0.4f	89.79±0.4a	62.30±0.5a	36.65±1.7a	72.48±0.7a
F2	72.71±0.8ab	18.82±0.9d	89.81±0.7a	57.59±1.0a	36.54±0.3a	69.63±2.5a
F3	63.51±1.1c	26.23±1.0a	81.34±1.0d	56.36±0.5a	28.12±4.0a	71.50±0.2a
F4	67.64±0.3bc	21.62±1.0c	87.06±0.8b	58.22±0.45a	37.36±0.7a	71.01±0.2a
F5	63.75±0.8c	23.45±0.7bc	84.06±0.3c	63.26±0.6a	38.15±0.6a	72.37±0.1a
F6	62.80±2.0c	24.27±3.0ab	83.86±2.0c	58.90±2.0a	35.62±0.7a	66.64±3.0a
F7	73.13±1.3ab	16.35±0.9e	86.70±0.6b	57.68±1.8a	35.87±3.1a	69.06±2.1a

(±): Desviación estándar

L* = LUMINOSIDAD; C* = CROMACIDAD; h° = ÁNGULO DE TONALIDAD

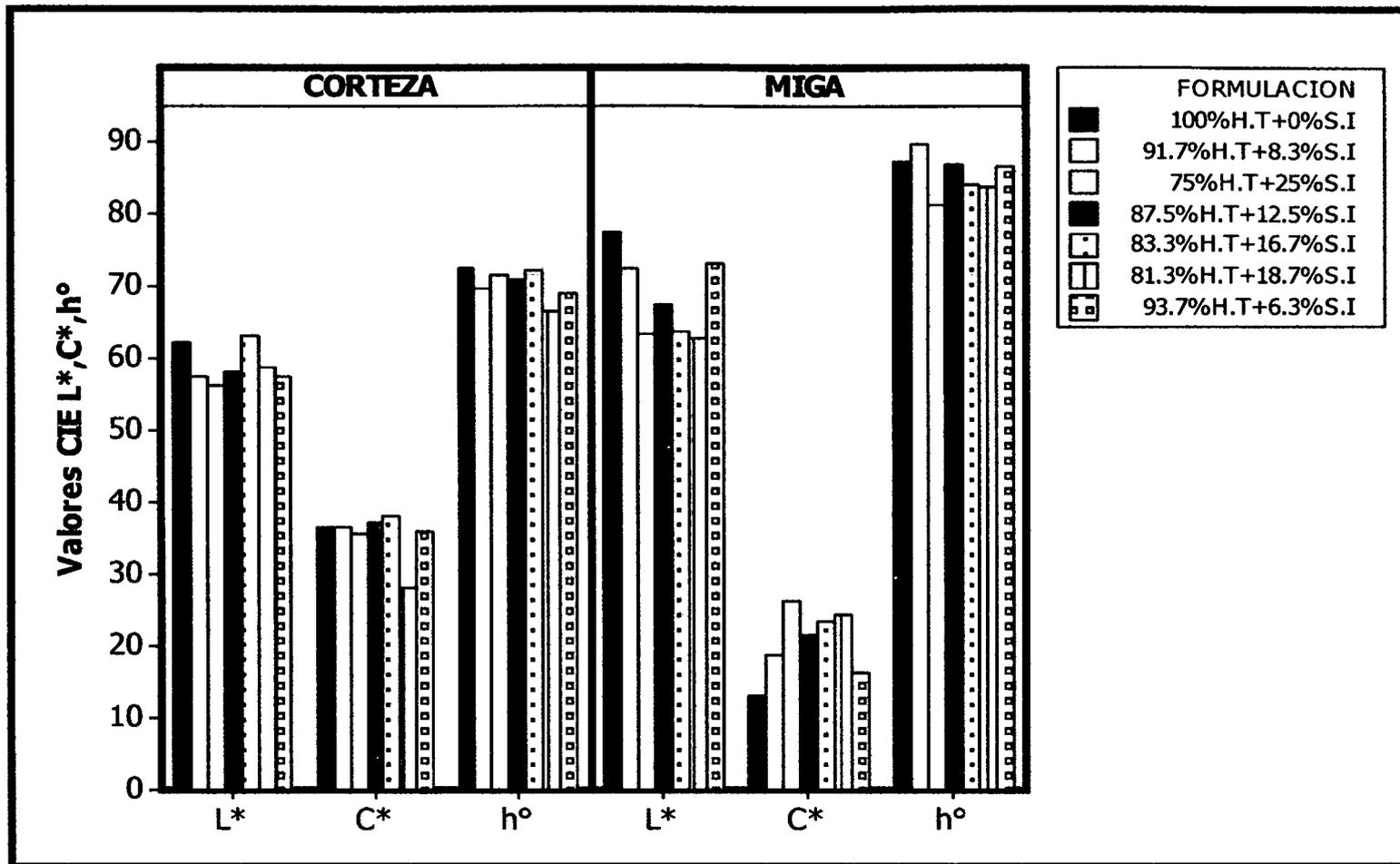


Figura 54: Gráfico de barras del análisis de color de la miga y corteza de los panes enriquecidos con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

La tabla 43, muestra los valores de rangos de medias para cada uno de los parámetros estudiados, luminosidad (L^*), cromacidad (C^*) y ángulo de tonalidad (h°) de la evaluación del color en la miga y corteza de los panes de molde de ésta investigación.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el parámetro de luminosidad en la miga. Lo que demuestra que el color inherente de la fuente de fibra de la torta desgrasada extruida de Sacha inchi influyó en el color final de la miga del pan. Todos los panes representan ser más oscuros comparándolos al pan control (F1), demostrando la reducción en los valores de luminosidad y mayor tendencia al rojo, indicando que la pigmentación amarilla oscura de la torta desgrasada de Sacha Inchi interfiere en el color de los panes. Resultados similares fueron observados por Da Silva et al., (2011) cuando utilizaron harina de linaza en el procesamiento de panes en niveles de 10 y 15 % presentando valores de L^* 68.40 y 66.73, respectivamente.

El parámetro C^* en el color de la miga del pan indica su cromacidad, donde mayores valores de C^* corresponden a colores más saturados (Minolta, 2006). Los resultados de tabla, presentan un incremento gradual en los valores de cromacidad (C^*) en la miga de los panes evaluados, con valores de rango de 89.81 a 81.34. A pesar de la preferencia del consumidor por los panes de miga blanca, el color obtenido es característico de

productos integrales y los consumidores acostumbran asociarla con productos más saludables.

El parámetro h° de la lectura de color indica el ángulo de inclinación que comienza en el rojo y es expresado en grados; 0° rojo (+a); 90° , amarillo (+b); 180° , verde (-a); 270° , azul (-b) (Minolta, 2006). En la tabla, se presentan los valores de ángulo de tonalidad (h°) para la miga, los cuales estuvieron en el rango de 81.34 ± 1.0 a 89.79 ± 0.4 , próximos a 90° equivalente a un color amarillo, con una leve inclinación al color rojo. 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°C (Gómez et al., 2011).

El color de la corteza, zona del pan que supera ampliamente los 100°C , está provocado por las reacciones de Maillard y caramelización de azúcares, y por tanto depende de la distribución del agua y la presencia de azúcares reductores y aminoácidos, y sus tipos (Stanley, 2002). Normalmente, el color de la corteza oscila entre marrón intenso dorado en la cima y marrón ligeramente dorado en los laterales (Pylar, 1998). Según Fernández (2006), un color deseable para el pan integral debe ser marrón, homogéneo y brillante. Los panes con una corteza muy clara o muy oscura están asociados a fallas en el procesamiento (Nunes, 2008). Los parámetros de color (L^* , C^* , h°) para la corteza no cambiaron significativamente

($p > 0.05$) con la incorporación de la torta desgrasada extruida de Sacha inchi evaluadas, tabla 43.

4.3.5 Evaluación sensorial

El color, los aromas, los sabores 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. En éste estudio, la evaluación sensorial se realizó con 30 panelistas semi-entrenados de ambos sexos y de diferentes grupos de edad. Se evaluó la aceptabilidad los atributos apariencia, color, olor, sabor y textura de los panes desarrollados mediante una escala hedónica de nueve puntos.

En la tabla 44, figuran los valores de los rangos de medias para cada uno de los parámetros estudiados en la evaluación sensorial.

Tabla 44: Valores medios de aroma, y sabor de los panes adicionados con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

Formulación	Apariencia	Color	Aroma	Textura	Sabor
F1	8.35±0.8 ^a	8.30±0.7 ^a	7.90±1.2 ^a	7.90±1.2 ^a	7.75±1.0 ^a
F2	6.90±1.6 ^{bc}	7.09±1.4 ^{ab}	6.71±1.3 ^{ab}	6.71±1.3 ^{ab}	6.81±1.4 ^{abc}
F3	4.80±1.9 ^e	4.90±1.7 ^c	5.05±1.7 ^c	5.05±1.7 ^c	5.05±2.4 ^d
F4	6.25±1.3 ^{bcd}	6.05±1.5 ^{bc}	6.35±1.8 ^{bc}	6.35±1.8 ^{bc}	6.10±1.8 ^{bcd}
F5	5.55±1.4 ^{de}	5.80±1.7 ^{bc}	6.10±1.3 ^{bc}	6.10±1.3 ^{bc}	5.55±1.6 ^{cd}
F6	5.90±1.0 ^{cde}	5.75±1.5 ^c	5.85±1.4 ^{bc}	5.85±1.4 ^{bc}	5.40±1.5 ^{cd}
F7	7.45±1.0 ^{ab}	7.65±1.0 ^a	7.15±0.9 ^{ab}	7.15±0.9 ^{ab}	7.30±1.3 ^{ab}

(±): *Desviación estándar*

Medias seguidas con la misma letra en la columna, no difieren entre sí, prueba de Tuckey ($p < 0.05$). HT: harina de trigo, TSI: torta de Sacha Inchi F1 (100% H.T), F2 (91.7% H.T+8.3% T.S.I), F3 (75% H.T+25% T.S.I), F4 (87.5% H.T+12.5% T.S.I), F5 (83.3% H.T+16.7% T.S.I), F6 (81.3% H.T+18.7% T.S.I), F7 (93.7% H.T+6.3% T.S.I).

4.3.5.1 Apariencia

Las características de un tipo particular de pan incluirán siempre una descripción de la apariencia física, habitualmente comenzando con la forma externa. (Stanley et a., 2002).

Tabla 45: ANOVA para el atributo de apariencia

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	173.74	28.96	15.72	0.000
Error	134	245.00	1.84		
Total	139	418.74			

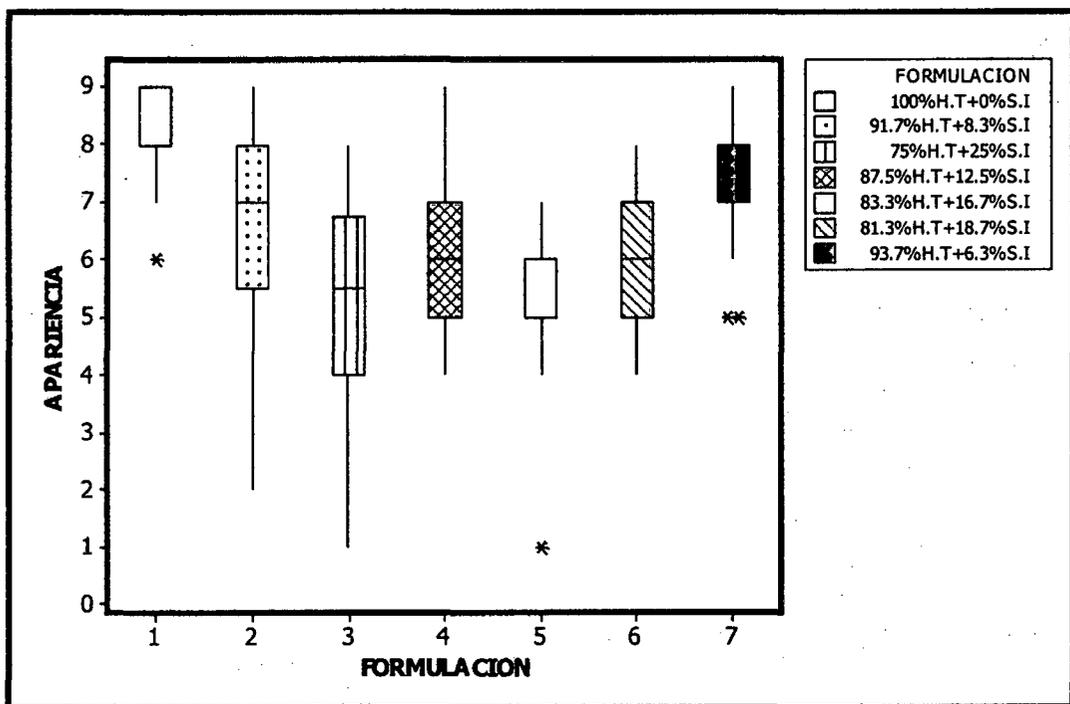
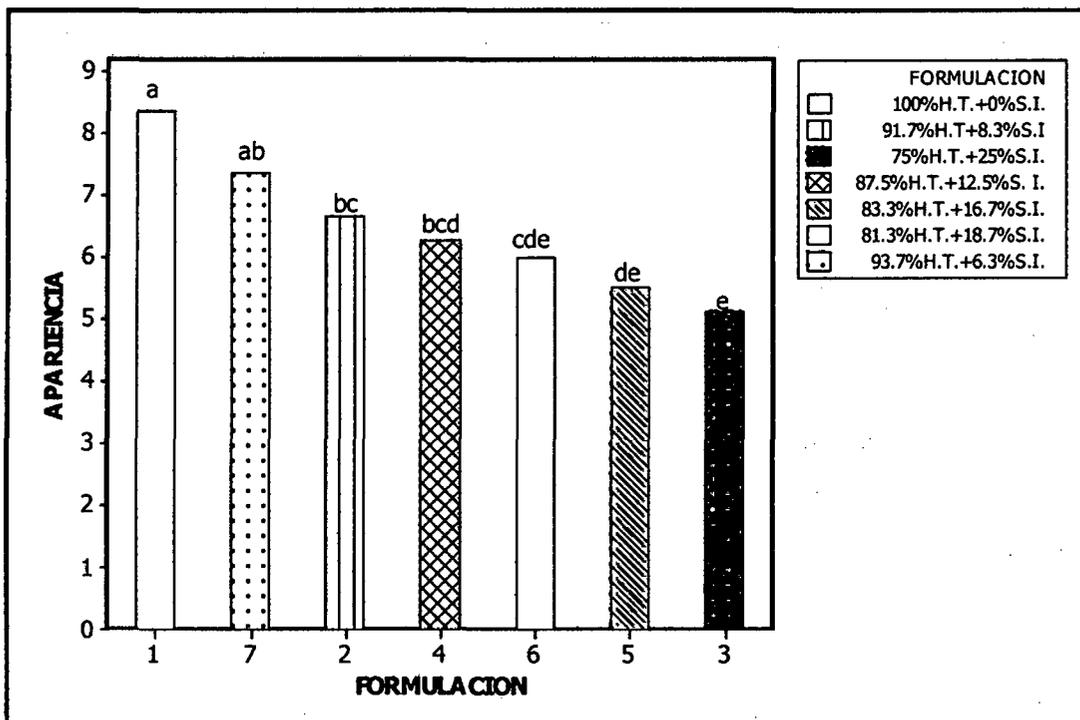


Figura 55: Gráfico de cajas para el atributo de apariencia

En la figura 55, nos indica que la formulación F1 concentró los puntajes más altos dentro de la escala hedónica de nueve puntos, obteniendo la el mayor valor de la mediana

(9). Ocurre lo contrario con la formulación F3, que presentó el menor valor para la mediana (5.5), asimismo muestra la mayor variabilidad con un rango intercuartil de 3. También presenta una distribución con asimetría negativa, lo cual indica que hubo panelistas a quienes les disgustó muchísimo, asignándole el puntaje de 1. Se observan valores atípicos en las formulaciones F1, F5 y F7. Los resultados presentados en la tabla 45, muestran un valor de p de 0.000, que resulta menor al nivel de significancia 0.05, con ello se asume que existen diferencias significativas entre los diferentes niveles de las formulaciones, produciendo cambios en los panes que fueron detectados en mayor o menor grado por los jueces.

Figura 56.



Las medias con letras diferentes presentan diferentes significativas ($p < 0.05$).

Figura 56: Gráfico de barras para el atributo de apariencia

De acuerdo a la figura 56, en el escore de puntos para el atributo de apariencia, los panes con formulaciones F1 y F7 con niveles de sustitución de 0% y 6.3% respectivamente, presentan medias superiores a las demás formulaciones. La aceptación del atributo apariencia en los panes con sustitución, se vio afectado significativamente a partir del nivel de 8.3%.

Matthews et al., (1970) refiere que, altos contenidos de harinas de oleaginosas en la masa provoca una marcada reducción del volumen específico y por ende rebanadas pequeñas. El cual podría haber repercutido en la aceptación de la apariencia de la formulación 3 con el

mayor nivel de sustitución 25%. Que al parecer, los consumidores prefieren el pan de molde con rebanadas grandes.

Limusa (2004), menciona al respecto que, cada pieza de pan de molde debe presentar la forma de un paralelepípedo rectangular simétrico, pudiendo ser convexa la parte superior y con aristas ligeramente redondeadas. La figura 58, presenta las características de la apariencia de las rebanadas de pan de las formulaciones F1 y F2, en las cuales se observaron estas marcadas diferencias del resto de las formulaciones.

Las características del pan dependen sumamente, pues de la formación de red de gluten en la masa, no solo para atrapar el gas procedente de la fermentación sino porque también contribuye directamente a la formación de una estructura alveolar en la miga que, tras el horneado, confiere una textura y la palatabilidad diferente a la de otros productos horneados. El dióxido de carbono queda retenido, a medida que se produce, en los pequeños alveolos que se había formado en la matriz proteica durante el amasado, provocando el crecimiento de dichos alveolos y la expansión de la masa. El número de alveolos no aumenta durante la expansión, pero la estructura se puede volver basta y sus tabiques comenzaran a colapsarse si la masa se expande en exceso. (Stanley,

2002). Boatella et al., (2004), señala que un defecto en la miga del pan es la presencia de agujeros. Al parecer este defecto fue notado por los jueces quienes dieron la menor puntuación a la formulación 3 (25% torta desgrasada extruida de Sacha Inchi). Figura 56.

Los alveolos en la masa se expanden durante la fermentación, los que se encuentran cerca de la corteza estallan para dar una capa compactada y exponen la grieta abierta. (Stanley, 2002). En la figura 58, se destaca la formación de greña en todas las formulaciones a excepción de la formulación 3 (25% de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi).

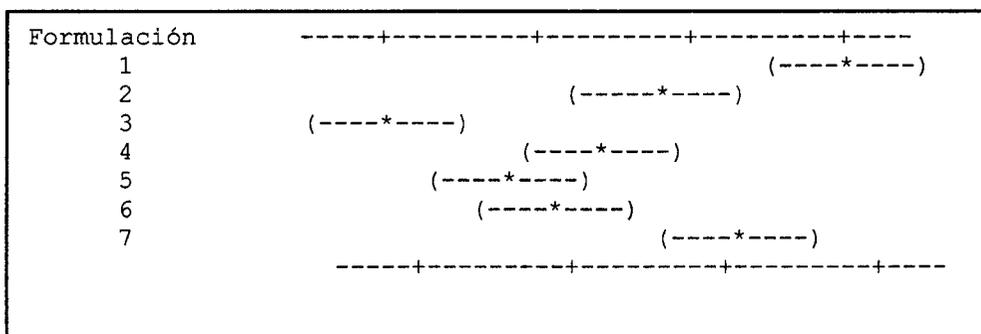


Figura 57: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de apariencia

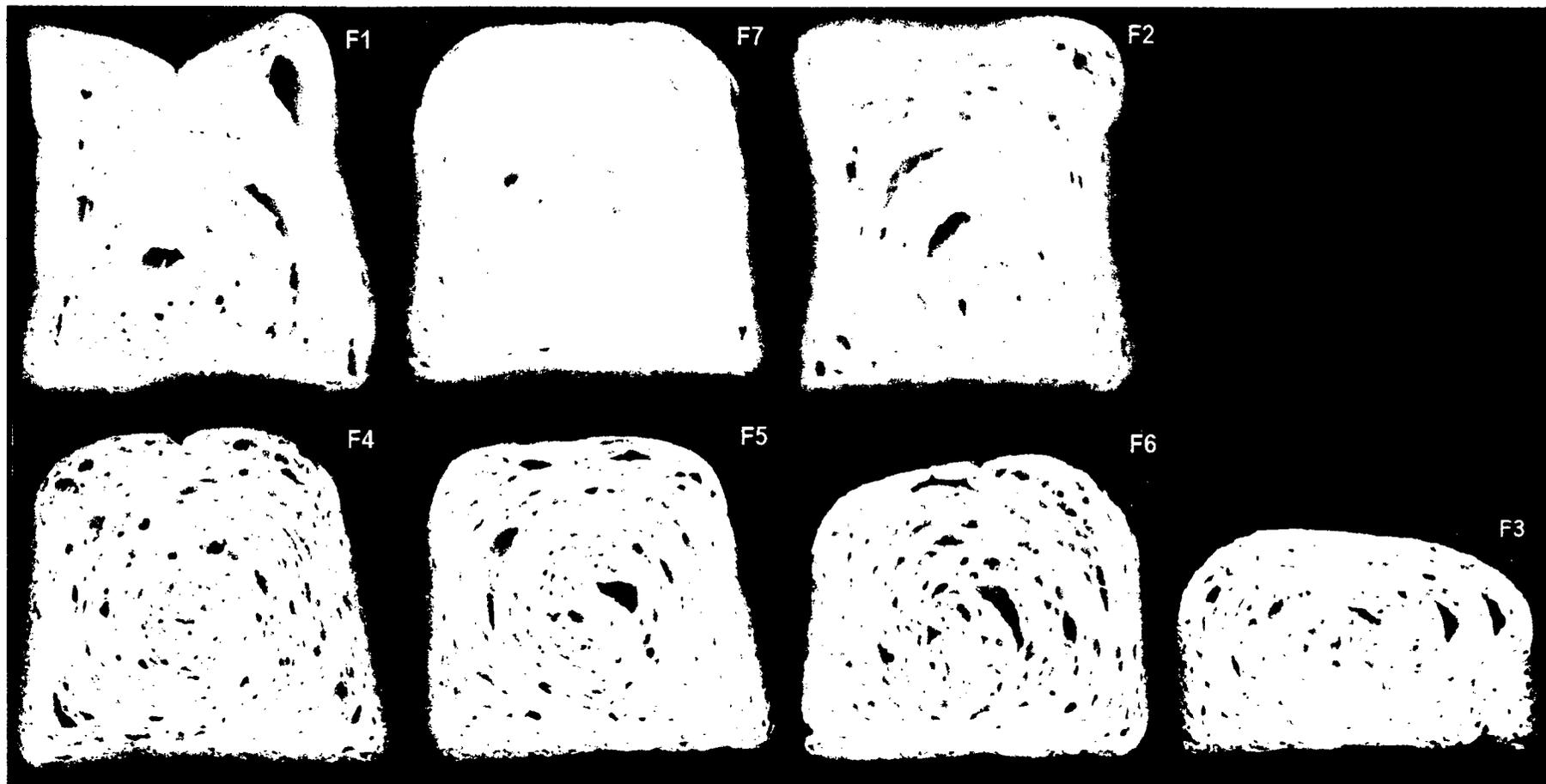


Figura 58: Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

HT: harina de trigo, TSI: torta de Sacha Inchi F1 (100%H.T), F2 (91.7%H.T+8.3%T.S.I), F3 (75%H.T+25%T.S.I), F4 (87.5%H.T+12.5%T.S.I), F5 (83.3%H.T+16.7%T.S.I), F6 (81.3%H.T+18.7%T.S.I), F7 (93.7%H.T+6.3%T.S.I)

4.3.5.2 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, 2009). La mayoría de las personas parece tener una idea clara del color esperado de un producto, basado en su memoria de experiencias pasadas. Lampaya (1928) 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.

Las medias obtenidas en la tabla 44, muestran que la percepción de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi provocó una disminución en la aceptación del aspecto general y del color de la superficie y la miga.

Tabla 46: ANOVA para el atributo color

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	174.97	29.16	14.46	0.000
Error	134	270.26	2.02		
Total	140	445.23			

De los resultados de la tabla 46, se observa un valor de p de 0.000, que resulta menor al nivel de significancia 0.05.

En general, los resultados indican que con el incremento del contenido de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

provocó la disminución de la aceptabilidad para el atributo de color. Figura 60.

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 (Kihlberg et al., 2004). Parece ser, que este concepto estuvo fuertemente claro para los jueces durante la calificación, obteniendo las muestras de las formulaciones F7 y ligeramente F2, puntajes cercanos de 7.65 y 7.09 respectivamente a la formulación sin sustitución F1 (8.30), constatando que estadísticamente no 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 58.

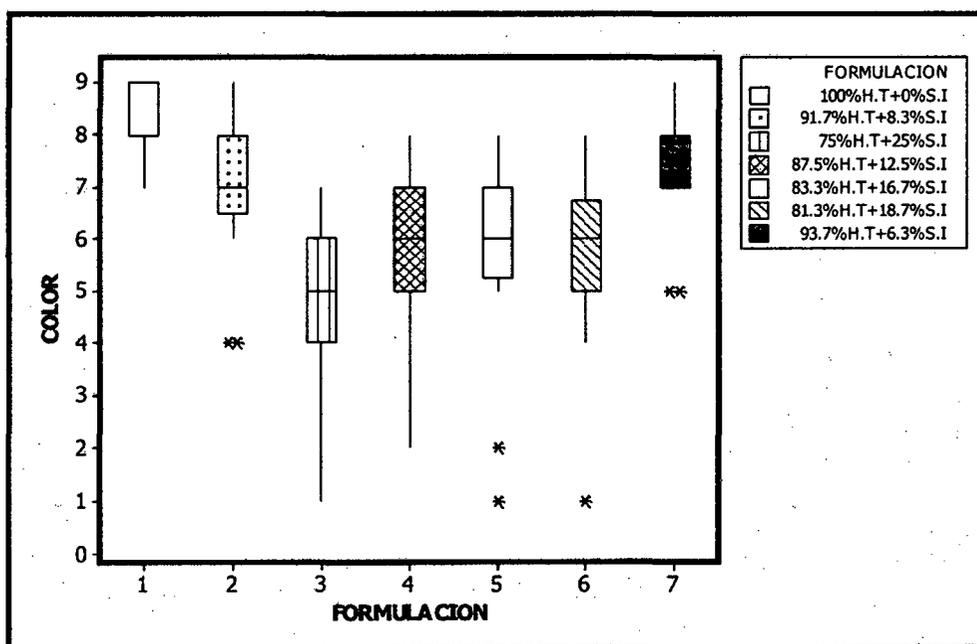
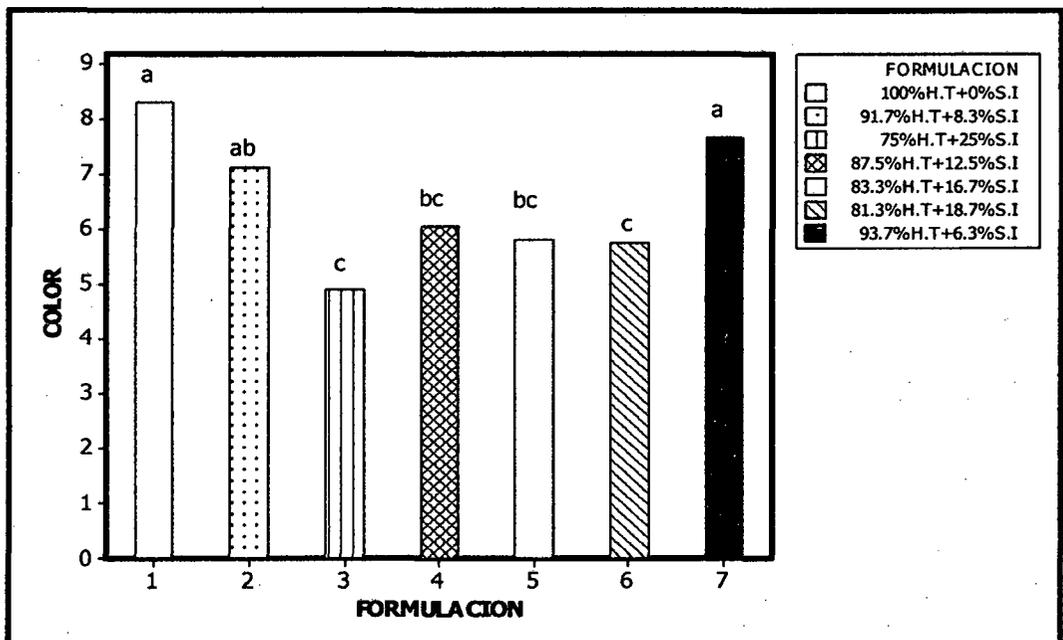


Figura 59: Gráfico de cajas para el atributo de color

De la figura 59, se observa que las formulaciones F1 y F7 obtuvieron los valores más altos de medianas (8) mostrando a la vez, menores variabilidades de sus datos. Las formulaciones F7 y F2 presentaron asimetrías positivas, lo cual indica que hubo panelistas a quienes les gustó muchísimo. En el caso de la formulación F3, las calificaciones se concentran entre los puntajes de 4 y 6, puntuaciones más bajas, asimismo presentando la mayor variabilidad, con un rango intercuartil de 2. Además, la distribución tiene una asimetría negativa, ya que tuvo algún panelista que le disgustó muchísimo, asignándole el puntaje más bajo de 1.



Las medias con letras diferentes presentan diferentes significativas ($p < 0.05$).

Figura 60: Gráfico de barras para el atributo de color

En la gráfica 60, se observa la menor media para la formulación F3, la cual contenía el mayor nivel de torta

desgrasada extruida de Sacha inchi (25%), se observó un intenso color marrón que también resultó ser inaceptable (Figura 57). Estos resultados son similares a los obtenidos por Camelo (2007), quien observó que la adición de harina de linaza y maracuyá en panes, ocasionaron una disminución significativa en la aceptación del atributo de color y apariencia en general. Por otro lado, la formulación F1, fue la que evidenció una media levemente más alta, seguida por la formulación F7. Del análisis de comparación de medias Tuckey se establece que no existen diferencias significativas entre las formulaciones F1 y F7; F4 y F5 y F3 y F6. Figura 61.

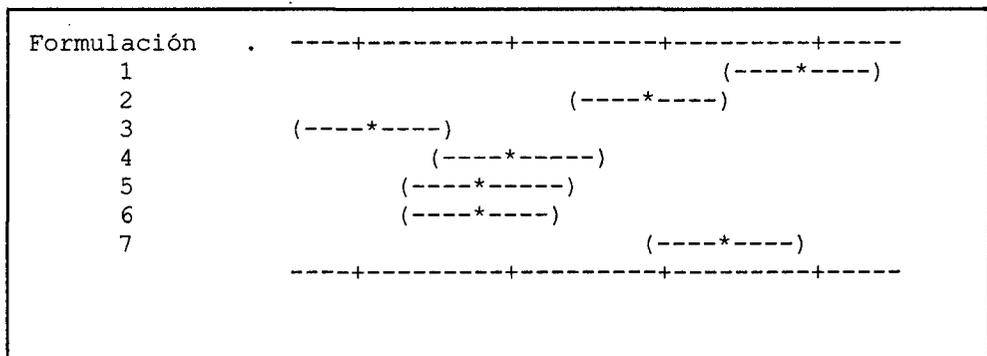


Figura 61: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de color

4.3.4.3 Aroma

El aroma es una propiedad sensorial percibible 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. (ABNT, 1993). Compuestos carbonilos, especialmente aldehídos, contribuyen al aroma y el sabor de productos horneados (Wiseblatt, 1961).

Las medias obtenidas en la tabla 44, muestran que la percepción de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi provocó una disminución en la aceptación del aroma.

Tabla 47: ANOVA para el atributo de aroma

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	102.37	17.06	8.39	0.000
Error	134	272.49	2.03		
Total	140	374.85			

Los resultados de la tabla 47, presentan un valor p de 0.000, con lo que se concluye que existen diferencias significativas entre las formulaciones de pan, las cuales han tenido un efecto negativo sobre el atributo de aroma. Figuras 62 y 63.

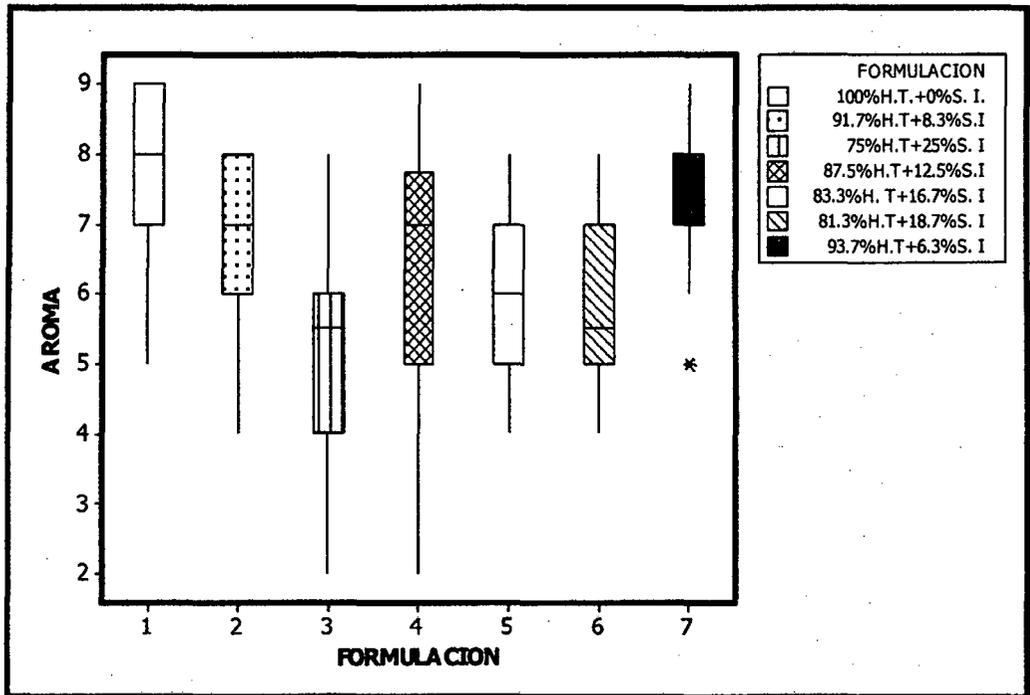
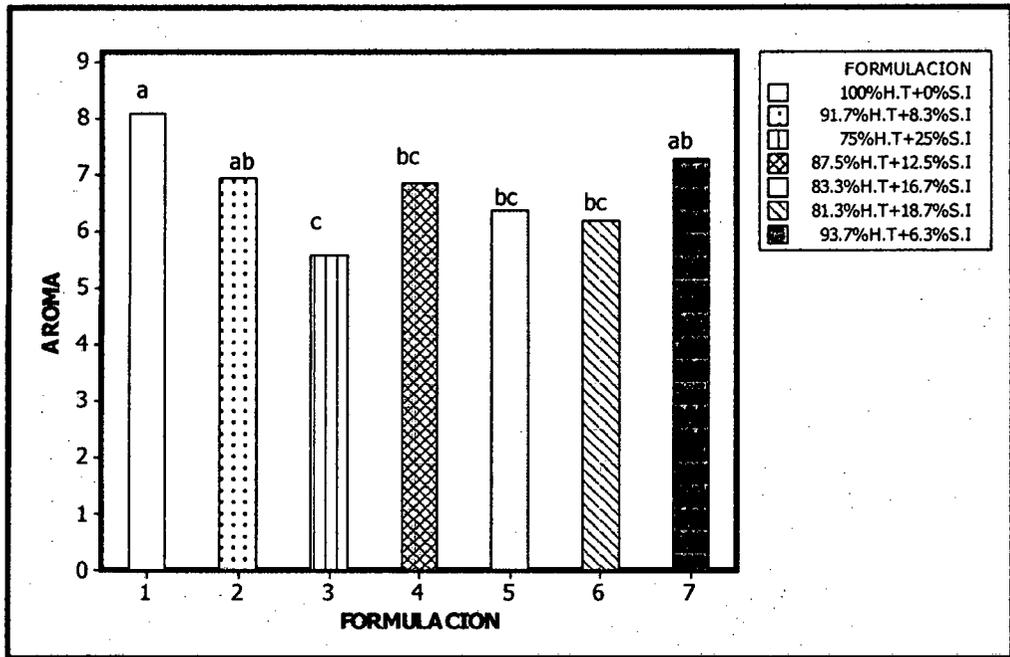


Figura 62: Gráfico de cajas para el atributo de aroma

En la figura 62, nos indica que la formulación F7 presentó una menor variabilidad de sus datos, ya que la caja de la gráfica es más pequeña que la de las otras formulaciones y se observa además que a ningún panelista le disgustó, ya que ninguno le asignó un puntaje por debajo de 6. En el caso de la formulación F3, las calificaciones se concentran entre las puntuaciones de 4 y 6, lo que indica que hubo puntuaciones más bajas para ésta formulación. Ocurre lo contrario con la formulación F1, donde la tendencia de las puntuaciones es hacia arriba (7 a 9), sin embargo, esto no indica cuál de los tratamientos es el mejor calificado, solo revela una tendencia de los datos.



Las medias con letras diferentes presentan diferentes significativas ($p < 0.05$).

Figura 63: Gráfico de barras para el atributo de aroma

De acuerdo a la figura 63, se observa que la formulación F3 posee la media más baja (5.05), que significa que fue la que menos gustó a los panelistas. Esto pudo deberse a que contenía el nivel de sustitución más alto (25%), 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 y que fue detectado por los jueces. Stanley (2002) 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.

Resultados similares fueron obtenidos por Sosulski et al. (1979), en panes con sustitución parcial con proteínas de legumbres y semillas oleaginosas donde obtuvieron las más bajas calificaciones que del pan de trigo en las pruebas de preferencia del sabor y aroma. El mismo autor refiere que, los compuestos carbonilos en panes complementado con proteínas de legumbres y oleaginosas, exhiben sabores distintos. Los altos niveles en algunos componentes carbonilos en los panes con sustitución podrían atribuirse, en parte, a la presencia de carbonilos en los suplementos proteicos de legumbres y oleaginosas.

Dall'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, como lo reportado por Morini y Maga (1995), éstos 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.

Por otra parte las formulaciones F2 y F7 son los que alcanzaron valores de media cercanos al de la formulación F1, y que al parecer presentan características comunes que los hacen ser considerados con aromas ligeramente menos fuertes. Figura 64.

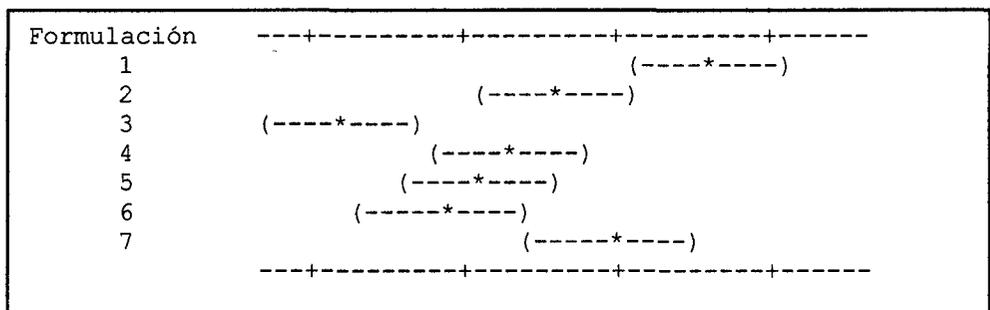


Figura 64: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de aroma

4.3.4.4 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 y auditivos (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 (1928), la miga debe presentar los ojos característicos del buen pan y una elasticidad y flexibilidad bien marcadas, al extremo de que aunque la comprimamos ligeramente, vuelva a levantarse, y cortada con un cuchillo, las oquedades deformadas momentáneamente, vuelvan a abrirse. El pan de mala calidad tiene poca esponjosidad.

El pan de mala calidad tiene un color oscuro y desigual, con manchas más o menos blancas; sabor pastoso y barroso; aspecto arrebatado, olivado o crudo, poca esponjosidad, falta de ojos, miga apalmazada, que toma la forma que se le da a la menor presión; corteza descolorida o quemada y separada de la miga, sabor ácido. Lampaya (1928),

Las medias obtenidas en la tabla 44, muestran que la percepción de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi provocó una disminución en la aceptación de la textura.

Tabla 48: ANOVA para el atributo de textura

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	145.63	24.27	9.12	0.000
Error	134	356.69	2.66		
Total	140	502.31			

Los resultados de la tabla 48, muestran un valor de p de 0.000, el cual resulta menor al nivel de significancia 0.05, con ello se asume que existen diferencias significativas entre los diferentes niveles de las formulaciones para el atributo textura, detectados en mayor o menor grado por los jueces. Figura 65.

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

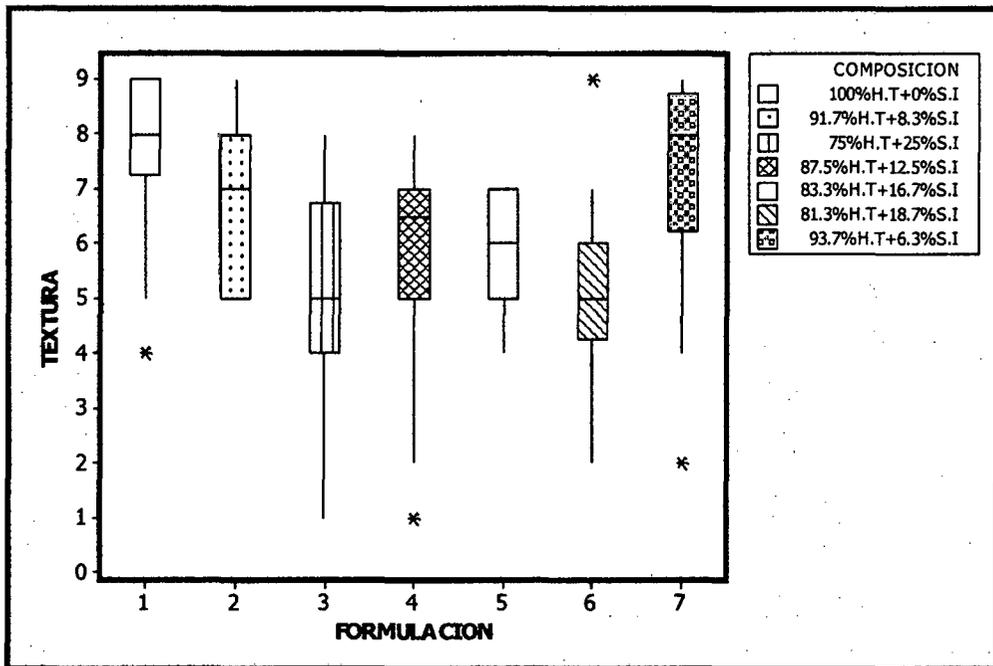


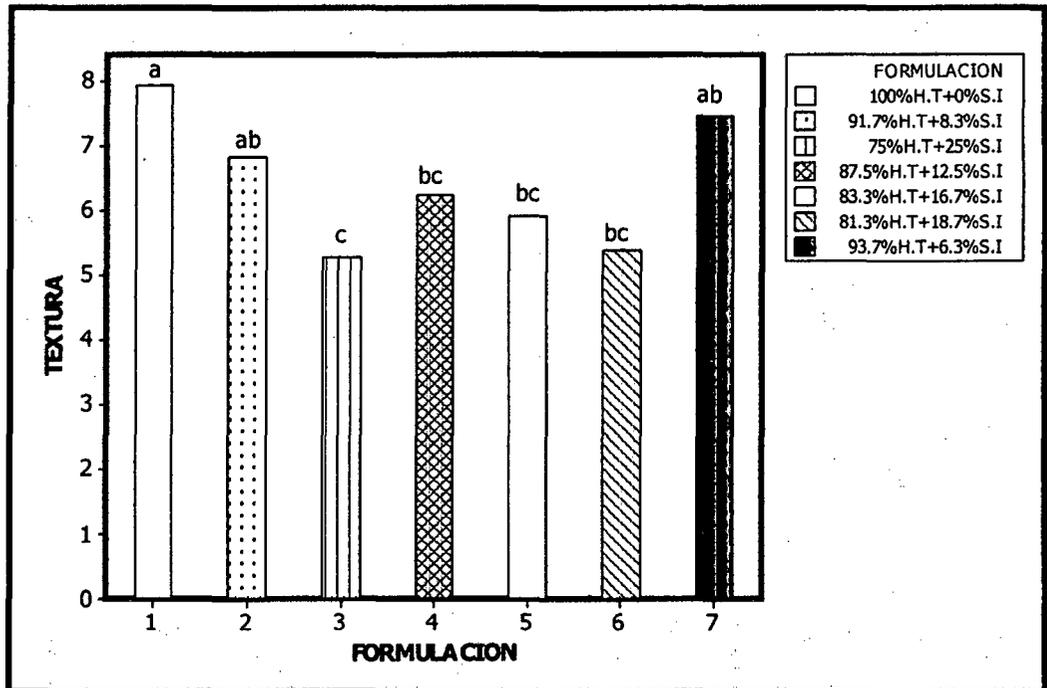
Figura 65: Gráfico de cajas para el atributo de textura

De la gráfica 65, se observa los mayores valores para la mediana en las formulaciones F1 y F7. Esta última presenta una mayor variabilidad en sus datos, asimismo muestra asimetría negativa, lo cual indicaría que recibió

al menos un puntaje de 4, por parte de un panelista a quien no le gusto la textura de esta formulación.

La figura 65, también nos indica que las formulaciones F4 y F5 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.

Las formulaciones F6 y F3 con los mayores niveles de sustitución 18.7% y 25% respectivamente, muestran los valores más bajos de medianas. De donde F3, presenta mayor variabilidad y presenta asimetría negativa, e indica que obtuvo calificaciones de 1 por medio de por lo menos un panelista a quien le disgusto muchísimo la textura de ésta formulación.



Las medias con letras diferentes presentan diferentes significativas ($p < 0.05$).

Figura 66: Gráfico de barras para el atributo de textura

La figura 66, ilustra las medias de los resultados de la evaluación sensorial de textura para las siete formulaciones, se observa que la formulación F1 presenta la mayor media, lo que significa que fue la que más gusto a los panelistas, seguida por las formulaciones F7 y F2, que presentaron los niveles más bajos de sustitución (6.3% y 8.3% respectivamente). Por el contrario, se observa que la formulación con menor aceptación fue F3, este resultado indica que altos niveles de sustitución influyen negativamente en los puntajes de aceptabilidad del atributo de textura por parte de los panelistas.

Demirkesen et al. (2010), reportaron que, la aceptabilidad de panes declinó principalmente debido a más textura compacta de la miga y formación de grietas se produjo en los panes que contienen sólo harina de castaña.

Se observa que la media de la formulación F4 es ligeramente mayor a la de las formulaciones F5 y F6, sin embargo no existen diferencias significativas entre ellas, tal como lo ilustra también la figura 67.

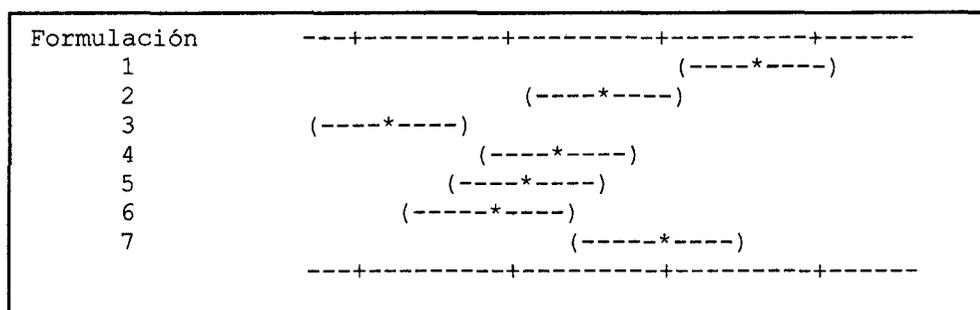


Figura 67: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de textura

4.3.4.5 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, 2006).

El sabor es el mayor componente del *flavor* en el pan y desempeña un papel determinante en la preferencia de los consumidores (Pyle, 1998). El pan tiene un ligero gusto dulce acidulado (Romano, 1990).

Según los resultados de las medias proporcionados en la tabla 44, muestran que la incorporación de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi provocó un efecto negativo en el atributo del sabor.

Tabla 49: ANOVA para el atributo de sabor

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	126.96	21.16	7.80	0.000
Error	134	363.69	2.71		
Total	140	490.65			

De acuerdo a los resultados que figuran en la tabla 49, se asume que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes niveles de las formulaciones para el atributo sabor, detectados en mayor o menor grado por los jueces. Figura 68.

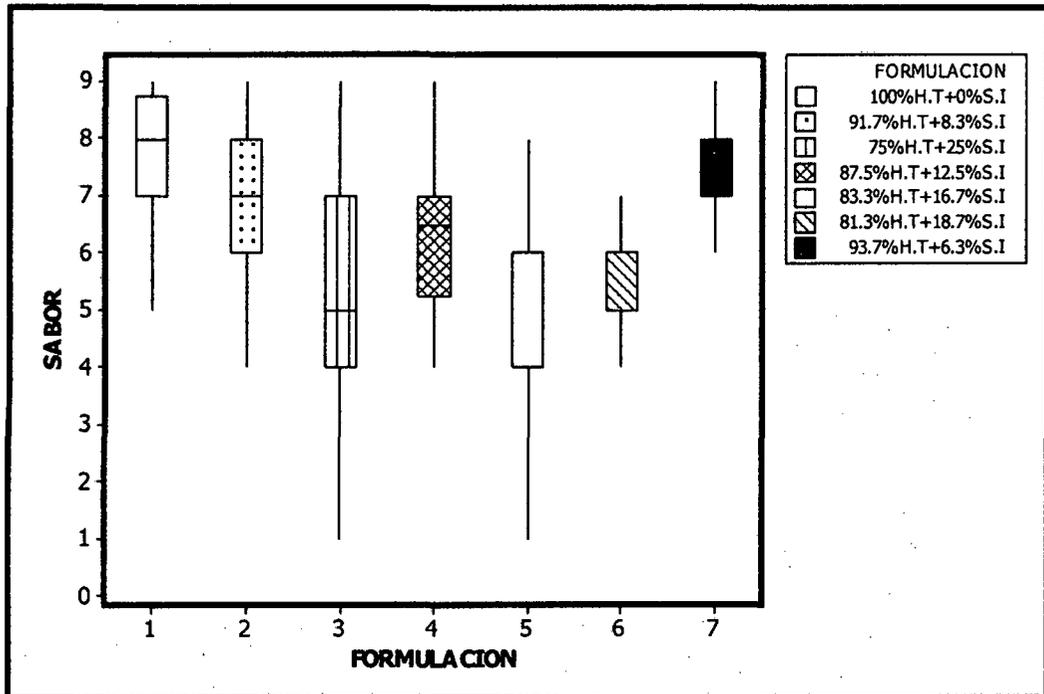
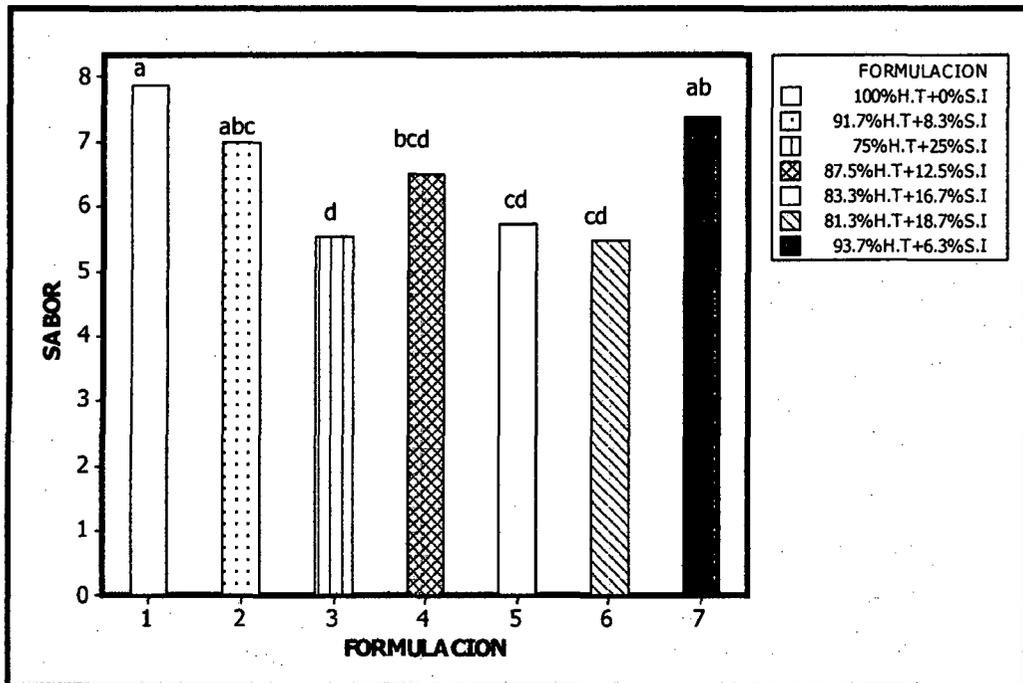


Figura 68: Gráfico de cajas para el atributo de sabor

De acuerdo a la figura 68, se observa que el mayor valor de la mediana lo presenta la formulación F1, seguida por la formulación F7. A la vez, se aprecia que las formulaciones F1 y F2 presentaron la misma variabilidad en los datos en relación al sabor del pan. Por otro lado, la gráfica muestra que los puntajes para F3 están más dispersos respecto de la mediana, mientras que los puntajes de F7 están agrupados más cerca de la mediana. Las formulaciones F5 y F3 con niveles de sustitución de 16.7% y 25% respectivamente, presentaron una marcada asimetría negativa, por obtener puntajes de 1 por parte de los panelistas, indicando que el sabor de dichas formulaciones les disgustó muchísimo.



Las medias con letras diferentes presentan diferentes significativas ($p < 0.05$).

Figura 69: Gráfico de barras para el atributo de sabor

De acuerdo a la figura 69, se observa que la muestra F3 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 torta desgrasada extruida de sachá inchi (25%). Asimismo, le siguen las formulaciones F5 y F6 que también consiguieron valores de medias bajas, pero que a la vez no presentan diferencias significativas. Los tratamientos F1 y F7 alcanzaron valores de media más altos, lo cual indica que les gustó mucho.

Demirkesen et al., reportaron valores similares en panes con sustitución parcial de harina de castaña y refiere que podría ser a la formación de mal sabor como resultado de

reacciones de Maillard. Las bajas puntuaciones recibidas por la formulaciones 3 y 6 podrían haber sido causado también por un intenso sabor de la torta desgrasada extruida de Sacha inchi. Guyton e Hall, (2006) refieren que el gusto amargo es generado por la interacción de sustancias orgánicas de cadena nitrogenada larga o de sustancias alcaloides con los receptores. Muchas toxinas encontradas en las plantas se constituyen de sustancias alcaloides que proporcionan una sensación amarga intensa cuando es consumida, generando una reacción inmediata de rechazo al alimento.

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). 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. (Badui, 2006). Sabores adversos son una

limitación importante en el uso de la soja, haba, guisante de campo, y las proteínas de girasol en los productos horneados (Sosulski y Flemming 1979).

Durante la refinación, los aceites son sometidos a diversos procesos, enfatizando el blanqueo y desodorización, los cuales contribuyen a mejorar los aspectos de sabor y estabilidad oxidativa del aceite. No obstante, los aceites en especial las que contienen instauraciones tienden a sufrir una reversión del sabor a aquel que poseían antes de la desodorización. Este efecto es más pronunciado cuando el aceite es sometido a temperatura elevada, a la presencia de oxígeno o a la radiación ultravioleta. (Zapata, 2004). Por el contrario todas las demás formulaciones fueron altamente significativas en comparación a la muestra de pan sin sustitución. Figuras 70 y 71.

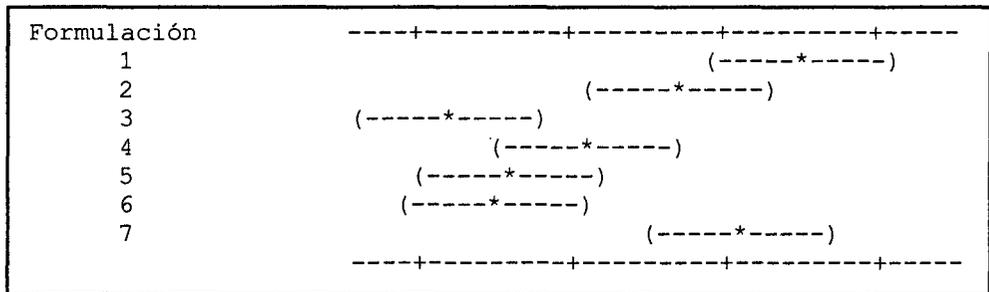
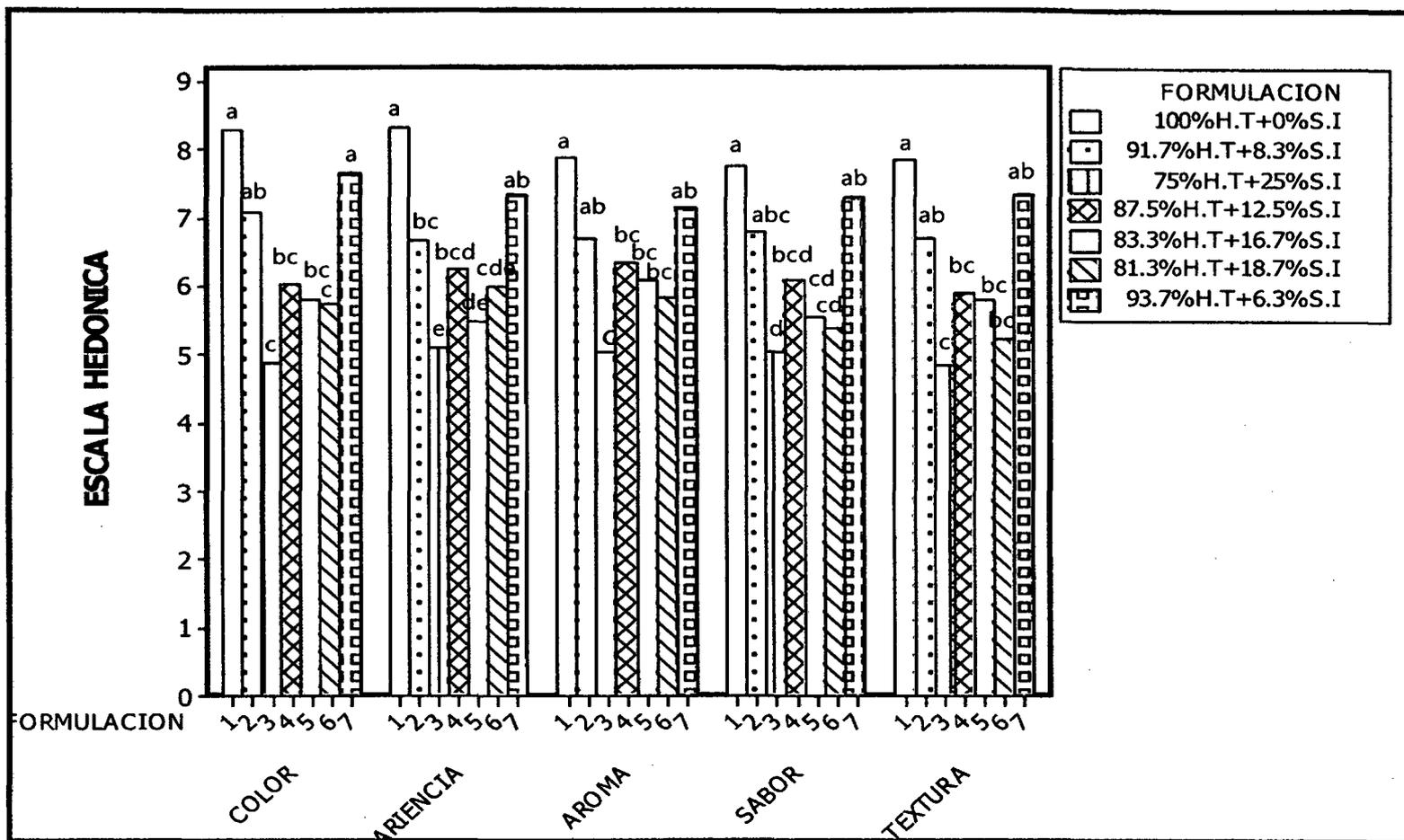


Figura 70: Gráfico de comparaciones de Tuckey para el atributo de sabor



Las medias con letras diferentes presentan diferentes significativas ($p < 0.05$).

Figura 71: Gráfico de barras para los atributos de color, apariencia, aroma, sabor y textura del pan enriquecido con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

4.4 Evaluación del perfil ácidos grasos

Es posible la incorporación de ácidos grasos a la formulación del pan, ya sea de manera directa o a través de algún ingrediente que los contenga. Una interesante fuente vegetal alternativa para la incorporación de w-3 en la dieta es el aceite presente en la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, sin embargo su elevada susceptibilidad a la oxidación podría dificultar su incorporación en los alimentos.

Tabla 50: Perfil de ácidos grasos

	C14:0 ^a	C16:0 ^a	C18:0 ^a	C18:1 ^a	C18:2 ^a	C18:3 ^a
	Ácido Mirístico	Ácido Palmítico	Ácido Esteárico	Ácido Oleico	Ácido linoleico	Ácido Linolénico
T.S.I.	**	3.66	2.42	7.43	34.75	50.77
Pan de molde	0.84	39.99	6.22	36.12	15.14	1.69

T.S.I: Torta desgrasada extruida de Sacha Inchi

a: g/100g de total de ácidos grasos

** : No detectado

Se identificaron y cuantificaron seis ácidos grasos (AG) del pan con sustitución de mayor aceptabilidad (F7), donde tres de los cuales fueron saturados, presentes en un 47.05%. Los ácidos grasos insaturados (52.95%), éstos se distribuyeron en monoinsaturado 36.12% y poliinsaturados 16.83%, ácido linoleico 15.14% y ácido linolénico 1.69%.
Figura 72.

El perfil de ácidos grasos mostró que el ácido graso (AG) más abundante en el pan es el ácido palmítico (C16:0), con una concentración de 39.99%. Resultados similares fueron obtenidos por Díaz, 2005, en su estudio comparativo de cuantificación de ácidos grasos trans en el pan de molde

blanco e integral reportando concentraciones de 39.57 y 39.81% respectivamente, 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 et al., 2012).

El mismo autor refiere que, los aportes de ácido linoleico, ácido graso esencial y de ácido oleico son beneficiosos dados los aspectos favorables que representan para la salud humana. Además el ácido oleico beneficia la disminución del colesterol LDL y mejora la palatabilidad del producto final.

De la tabla 50 también se observa que con el tratamiento térmico se incrementó el contenido de los ácidos palmítico y oleico con 39.99% y 36.12% respectivamente. Sin embargo causó la disminución del contenido de los ácidos linoleico y linolénico los cuales disminuyeron en un 56.43% y 96.67%, significando una retención de 3.33% de ácido graso alfa linolenico (ω -3). 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 (ω -3/ ω -6), propios de semillas convencionales son saludables pero no alcanzan la estabilidad requerida. El ácido oleico (ω -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 1.10% de ácidos grasos ω -3 y ω -6.

Conforme a la legislación brasileña Anonymus, 2008 citados 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.

Los resultados obtenidos en este estudio para el contenido de ácido linolénico (w-3) lo ubican dentro del rango adecuado de ingesta de ácidos grasos esenciales recomendados por la (FAO; 2008), en el que sugiere una ingesta de 0.5 y 2% de omega 3; y 2.5 y 9% de Omega 6. En el caso del ácido linoleico (w-6) supera las recomendaciones de la FAO.

En la figura 73 se pueden observar los tiempos y el orden de elución de cada uno de los AG que se encuentran en el pan de molde de la formulación 7. El orden de la elución depende del número de carbonos y el grado de instauración, primero eluyó el hexano de cadena corta y saturado, luego el ácido mirístico a los 32.52 minutos, el ácido palmítico, que eluyó a los 37.47 minutos y por último el ácido linolénico a los 47.32 minutos. Asimismo en este estudio, no se observa la presencia de ácidos grasos trans que son aún más nocivos que los saturados.

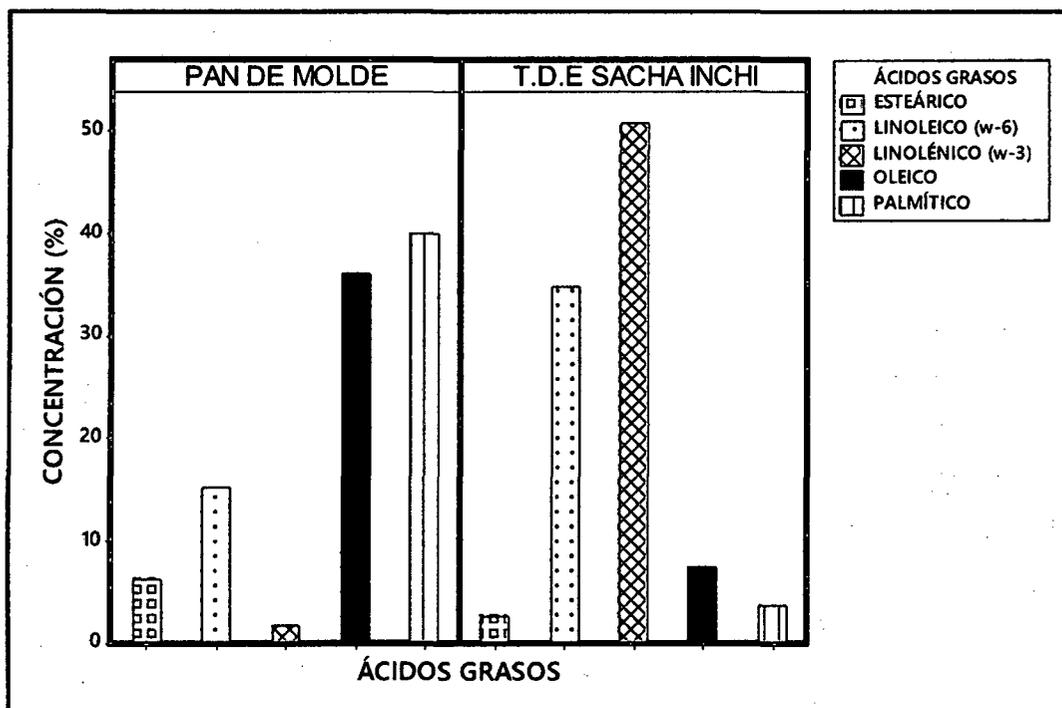


Figura 72: Perfil lipídico de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi y del pan de molde

Sobre los lípidos, el tratamiento térmico produce fusión, aunque por ser mezclas de triglicéridos es difícil establecer con exactitud su punto de fusión; antes de llegar al estado líquido pasan por un estado pastoso, después humeante y posteriormente se descomponen. (Gil, 2010).

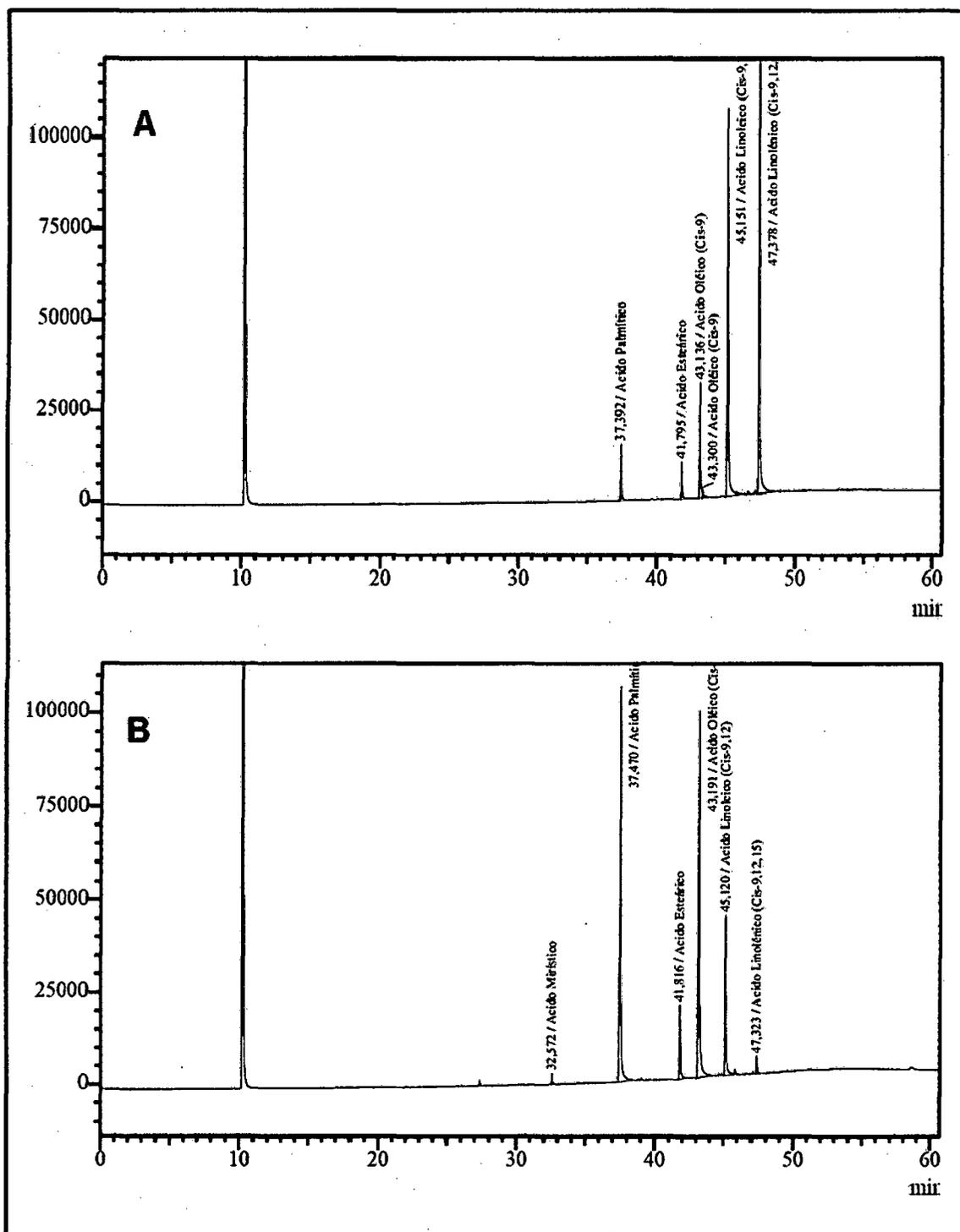


Figura 73: Cromatografía de gases A) Torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, B) Pan de Molde (F7)

V. CONCLUSIONES

- Para ésta investigación se determinó como mejor sustitución, el pan de molde enriquecido con 6.3% de torta desgrasada extruída de Sacha Inchi.
- Se verificó que, la incorporación de torta desgrasada extruida de sachá inchi en la elaboración de pane de molde en las diferentes sustituciones estudiadas presentó resultados satisfactorios en referencia al aspecto nutricional.
- El análisis del perfil de ácidos grasos presentó un contenido de 1.69% en ácido alfa linolénico (ω -3) para la muestra de pan de la mejor sustitución, el cual está dentro del rango establecido por la FAO considerándola como un importante alimento con propiedades funcionales que ayudará a mantener niveles saludables de triglicéridos, entre otros beneficios para la salud.
- Las propiedades reológicas estudiadas, mostraron que la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, cuando es adicionada a la harina de trigo tiende a debilitarla, actuando como diluyente del gluten.
- El análisis instrumental de color para la miga mostró que los panes elaborados con torta desgrasada extruida de Sacha Inchi tienden ser más oscuros en relación al pan control.

VI. RECOMENDACIONES

- Determinar la vida útil del pan de molde con sustitución parcial de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.
- Determinar el análisis cromatográfico de los aminoácidos presentes en la torta desgrasada extruida y sin extraer de sachá inchi.
- Realizar evaluaciones a nivel biológico del efecto de la sustitución de torta desgrasada extruida de sachá inchi.
- Realizar investigaciones complementarias de posibles antinutrientes existentes en la torta desgrasada extruida de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) que influyen en la digestibilidad y calidad de las proteínas.
- Realizar estudios a la cascara de la semilla de *Plukenetia volubilis* L. para la determinación de fibra soluble e insoluble y ser aprovechados como fibra alimentaria.

VII. BIBLIOGRAFIA

ABNT. Asociación Brasileira de Normas Técnicas. Análisis sensorial de alimentos y bebidas-Terminologia-NBR12806.Rio de Janeiro.8p, 1993.

Agroindustrias Amazónicas (2006). Información clasificada de Agroindustrias Amazónicas. Lima. 36 pp.

Akhtar S., Anjum F., Rehman S., Sheikh M., Farzena K. (2008). Effect of fortification on the physico-chemical and microbiological stability of whole wheat flour. Food Chemistry.112, 156-163.

Alimentos Saludables (2004). Revista de nutrición XXI. Artículo n° 11.

Anonymous. (1998). Ministerio da Saude, ANVISA, Resolução n° 27, de 13 de janeiro de 1998. In Aprova o Regulamento Técnico referente a Informação Nutricional Complementar. Brasilia, DF, Brasil: Diario oficial da União.

Arevalo G. (2005). Informes de Resultados de Investigación. Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología. E.E-"El Porvenir". Años 1989-1995.

Antonioli F., Arfini F. (2013). SACHA INCHI. Investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de Indicación Geográfica en el Perú.

Badui S. (2006). Química de los Alimentos. Cuarta edición.

Bilbao C. (2007). Revista panadera: forma e informa. Año 1. N°5. Lima-Perú.

Bravo J., Ortiz R. (1999). Efecto del grado de gelificación de harina de trigo (*triticum acstivum*) sobre sus propiedades fisicoquímicas. México.

Boatella J., Codony R., López P. (2004). Química y Bioquímica de los alimentos II.

Calaveras (1996). Tratado de Panificación y Bollería. Madrid. Editorial: Mundiprensa.

De la vega G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Calcáneo E., Marian X. (1991). Hidrolisis enzimática de la harina de arroz. Costa Rica.

Camelo C. (2007). Aplicação das Farinhas de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e Maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) no processamento de pães com Propiedades Funcionais. Universidad Federal Do Ceará.

Campos J. (1977). Efeito da adição da farinha de tremço doce (*lupinus albus*) nas propriedades reologicas da massa e na qualidade do pão. Universidad Estadual de Campinas.

Chirinos R., Zuloeta G., Pedreschi R., Mignolet E., Larondelle Y., Campos D. (2012). Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopheroles, phytosteroles, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry*. 141, 1732-1739.

COCA (1991). Aplicación del control de calidad en la industrialización del trigo. Instituto Colombiano Agropecuario-ICA. Bogota. p 58.

Dall'Asta C., Cirlini M., Morini E., Rinaldi M., Ganino T., Chiavaro E. (2012). Effect of chesnut flour supplementation on physico-chemical properties and volatiles in bread making. *LWT-Food Science and Technology*. 53, 233-239.

Da Silva J., Ribeiro M., De paula D., Ramos D., Paes J. (2011). Caracterização Fisico-Química e Sensorial de pão de sal enriquecido com farinha integral de linhaça.

De la Cruz W. (2009). Complementación Proteica de Harina de Trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y suero en el pan de molde y tiempo de vida útil. Tesis para optar el grado de Magister. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Delgado F. y Cano A. (2013). Elaboracion de productos de panaderia. 480 p.IC Editorial.

Demirkesen I., Behic M., Gulum s., Serpil S. (2010). Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Journal of food engineering*. 101, 329-336.

Díaz M. (2005). Cuantificación de ácidos grasos trans por cromatografía de gases en pan blanco e integral de la planta de procesamiento de Granos de Zamorano.

Dervas G., Doxastakis G., Hadjisavva-Zinoviadi S., & Triantaafillakos N. (1999). Lupine flour addition to wheat flour dough and effect on rheological properties. *Food Chemistry*. 66, 67-73.

Doxastakis, G., Zafiriadis I., Irakli M., Tananaki C. (2002). Lupine, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. *Food Chemistry*. 77, 219-227.

Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: *Rev. Food Chem*. 124, 411-421.

EL-DASH, Camargo O. (1982). *Fundamentos da Tecnologia de panificação*. Sao Paulo, Comercio e Tecnologia, 400 p.

Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C., Attia H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: *Rev. Food Chemistry*. 124, 411-421.

Encomenderos D. (2003). Especies vegetales promisorias – SECAB. Tarapoto. 36 pp.

Esteller S., Lannes S. (2005). Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de productos panificados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.25.

Exportaciones Del Producto Sacha Inchi Según Sus Principales Presentaciones. Elaborado Por Promperú, Sunat. (2012)

Fanali C., Dugo L., Cacciola F., Beccaria M., Grasso S., Dach_A M., Dugo P., and Mondello L. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil. *J. Agric. Food Chemistry*. 59, 13043–13049

FAO (2006). Alimentación y nutrición. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. Consulta de expertos. Ginebra.

FAO/WHO/UNU (1994). Food Nutrients Requirements, Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World Health Organization Technical.

Fernandes F. (2006). Utilização da farinha de casca de batata na elaboração da pão integral. Universidad Federal de Lavras, Lavras.

Ferreira S., Oliveira R., Pretto D. (2002). Parâmetros de qualidade do pão francês. *Boletim CEPPA, Curitiba*. 19, 301-318.

Follegatti R., Piantino C., Grimaldi R., Cabral F. (2009) Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seedes. *Jornal of Supercritical Fluids* 49, 323–329

Germani R. (2003). Qualidade de farinha de trigo e panificação. In: semana academica de engenharia de alimentos. Rio de Janeiro. 74 p.

Gil A. (2010). Composición y Calidad Nutritiva de los alimentos. Tratado de Nutrición. Segunda Edición. Tomo II, 684.687.

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.

Gutierrez L., Rosada M., Jiménez A. 2011. Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction (ICTA), Universidad Nacional de Colombia. *Grasas y Aceites*. 62, 76-83.

Gutkoski L., Pavanelli A., Miranda M., Chang Y. (1997). Efeito de melhoradores nas propriedades reológicas e de panificação da massa de farinha de trigo. *Boletim da Sociedade Brasileira de ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas. 17, 11-16.

Gutkoski L., Fiho R., Trombetta C. (2002). correlação entre o teor de proteínas em grãos de trigo e a qualidade industrial das farinhas. *Boletim CEPPA, Curitiba*. 20, 29-40.

Guyton A., Hall J. (2006). *Tratado de fisiologia medica*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Hamaker R., Valles C., Gilman R., Hardmejer M., Clark D., Garcia H., Gonzales E., Kohlstad I., Castro M., Valvidia R., Rodriguez T., Lescano M. (1992). Amino Acid and Fatty Acid Profiles of the Inca Peanut (*Plukenetia volubilis*). *Cereal Chemist*. 49, 461-463.

Hazen y Sidewessand (1980). Cornell University, USA.

Hernández A. (2003). *Microbiología Industrial*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica, 38-42.

Hoseney C. (1991). *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Zaragoza (España): Acribia.

Hurtado Z. (2013). Analisis composicional de la torta y aceite de semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) cultivada en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

IIAP (2009). *Folia Amazonica*. Vol. 17 N°12. Peru.

Indrani D., Swetha P., Soumya C., Jyotsna Rajiv, Venkateswara Rao G. (2010). Effect of multigrains on rheological, microstructural and quality characteristics of north Indian parotta and an Indian flat bread. *Food Science and Technology*. 44, 719-724.

Jardine J. (1982). Avaliação do comportamento tecnológico de farinha de Tríticale em mistura com farinha de trigo para a produção de pães. Tese de Mestrado. Universidad Estadual de Campinas.

Jideani V, Onwubali F (2009). Optimisation of wheat-sprouted soybean flour bread using response surface methodology. *Afr. J. Biotechnol.* 22, 6364-6373.

Justo M., Castro A., Aguilar E., Wrobel K., Guzmán G., Sierra Z., Da mota V. (2007). Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 57, 78-84.

Kent N. (1971). *Tecnología de los cereales*. Zaragoza (España): Acribia.

Koca F., Anil M. (2007). Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87, 1172-1175.

Kuehl R. (2001). *Diseño de Experimentos*. Editorial: Thomson Learning. México.

Kulp K. (1991). *Cookie Chemistry and Technology*. Manhattan, K: American Institute of Baking.

Lampaya E. (1928). Curso de Molinería. Escuela Nacional De Molineria.Madrid-España.

Léon A. (2007). De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica. Córdoba: Hugo Báez, 480p.

Ley N° 11367/2004 – C12: Ley que declara al sachá inchi como patrimonio genético Nacional y producto alternativo en la lucha contra la pobreza. Lima, 08 septiembre.

Limusa (2004). Introducción a la tecnología de alimentos. II edición. México.

Longjian N., Jialong L., Mao-Sheng C., Zeng-fu X. (2014). Determination of oil contents in Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) seeds at different developmental stages by two methods: Soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. *Industrial Crops and Products*. 56, 187-190.

Lopes E. (2006). Efeito da adição de fibra alimentar sobre a qualidade de pão pré-assado congelado. Universidad Estadual de Campinas.

Lupano C. (2013). Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. Universidad de La Plata.

Magaña-Barajas E., Ramírez-Wong B., Platt-Lucero L.C., Lopez-Ahumada G.A., Torres P.I., Sanchez-Machado D. (2009). 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 Nutr.* 1, 39-43.

Matthews R., Sharpe E., Clark W. (1970). The use of some oilseed flours in bread. 1970. Human Nutrition Research Division, Agricultural Research Service, 37, 181-188.

Mateo J. (2005). *Prontuario de Agricultura*. España, Editorial Océano.

Minolta (2006). *Precise color communication* (p.13). Ramsey: Minolta, Minolta camera Co. Osaka, Japan.

Mohammed I., Abdelrahman R., Ahmed B., Senge B. (2011). Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*. 36, 196-202.

Mondragón G. (2009). *Estudio farmacognóstico y bromatológico de los residuos industriales de la extracción del aceite de Plukenetia volubilis L. (Sacha inchi)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica.

Moraes C. (2009). *Caracterização de Farinhas de cevada e o efecito da sua incorporação sobre a qualidade do pão de forma*. Universidade Federal De Santa Maria. Programa de Pós-graduação em Ciência e tecnologia dos alimentos.

Morini, G., Maga J.(1995). Volatile compounds in roasted and bovine Chinese chestnut (*Castanea molissima*). *LWT-Food Science and Technology*, 28, 638-640.

Muzquiz M., Pedrosa M., Varela A., Guillamon E., Cuadrado C., Burbano C. (2006). *Factores no-nutritivos en fuentes proteicas de origen vegetal. Su implicación en Nutricion y Salud*. *Brazilian Journal of Food Technology*. 87-98.

Neff M., Bhavsar S., Braekevelt E., Arts M. (2013). *Effects of different cooking methods on fatty acid profiles in four freshwater fishes from the Laurentian Great Lakes region*. *Food Chemistry*. 164, 544-550.

Norma Técnica Peruana NTP 205.045:1976 (Revisada el 2011). Harinas Sucedáneas Procedentes de Cereales. 1ra Edición.

Nunes G. (2006). Processos enzimáticos e biológicos na panificação. Apostila, 2006.

Oliveira T., Ribeiro P., Da Silva j. (2007). Elaboração De Pão De Sal Utilizando Farinha Mista De Trigo E Linhaça. Alimentação e Nutrição, Araraquara. 18, 141-150.

Ortega R., López M., Requejo M., Carvajales A. (2005). La composición de los alimentos. Herramienta básica para la valoración nutricional. Madrid. Editorial Complutense S.A.

Pariona N. (2008). Obtención de los ácidos grasos del aceite de la *Plukenetia volubilis* L. Sacha Inchi para la utilización en la industria y estudio fotoquímico cualitativo de la almendra. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Pascual G., Mejía M., Extracción Y Caracterización De Aceite De Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Anales Científicos UNALM. 2000; 42: 146-160

Pavanelli A. (2000). Aditivos para panificação: conceitos e funcionalidade. ABIAM- Associação Brasileira da Indústria de Aditivos e Melhoradores para Alimentos e Bebidas. Artigo técnico Oxitenio.

Pylar E. (1988). Wheat and Wheat flour. In: Baking: science and technology. 3rd ed. Merriam Kansas: Sosland Publishing Company. 2, 850-910.

Pylar E., Gorton L. (2009). Baking Science and Technology. 4th ed. Merriam Kansas: Sosland Publishing Company. 2.

Pizzinatto A. (1999). Qualidade da Farinha de Trigo. Campinas, São Paulo.

Pomeranz Y., Wheat chemistry and Technology. 2nd. Ed. St. Paul: AACC, 198-821.

Potter, H. and Hotchkiss, I. (2006). Food Science.(5th ed.). CBS Publishers and Distributors. New Delhi, India.

Quezada S. (2007). Manual de experimentos de laboratorio para Bioquímica. Primera Edición: Editorial Universidad Estatal a Distancia. San Jose, Costa Rica.

Qualia G. (1991). Ciencia y Tecnología de la panificación. Editorial Acribia. España, 239-258.

Rao G.; Rao P. (1993). Methods for determining rheological characteristics of doughs: a critical evaluation. Food Science Tecnología. 30, 77-87.

Repo-Carrasco R. (1991). Contenido de aminoácidos en algunos granos andinos. Avances en Alimentos y Nutrición Humana. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Repo-Carrasco R. (1998), Introducción a la ciencia y Tecnología de Cereales y Granos Andinos. Editorial Agraria.

Ribotta P. (2005). 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).

Romano A. (1990). Controle de qualidade voltado para a panificação.

RM N° 1020-2010. / Minsa, 2010. Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería.

Silveira M., Salas-Mellado M. (2014). Effects of substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *Food Science and Technology*. 60, 729-736.

Škrbić B., Filipčev B. (2008). Nutritional and sensory evaluation of wheat breads supplemented with oleic-rich sunflower seed. *Food Chemistry*. 108, 119-129.

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

Sosulki F. and Mahmoud M. (1979). Effects of Proteins Supplements on Carbonyl Compounds and Flavor in Bread. *Cereal Chemistry*. 56, 533-536

Stanley P. (2002). *Fabricación del pan*. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Editorial Acribia. España.442p.

Stauffer E. (1990). *Functional additives for bakery foods*. New York: AVI Books.

Swieca M., Seczyk L., Gawlik-Dziki U., Dariuuz D. (2014). Bread enriched with quinoa leaves-The influence of protein-phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. *Food Chemistry*. 162, 54-62.

Tablas Peruanas de Composición de alimentos (2009). Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Lima-Perú.

Tedrus S., Ormenese S., Speranza M., Chang K., Bustos S. (2001). Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. *Ciênc. e Tecnologia de Alimentos, Campinas*. 21, 20-25.

Teixeira L. (2009). Análise Sensorial na Indústria de Alimentos. *Rev. Inv. Candido Tostes*. 64, 12-21.

Varanda C. (2014). Obtenção e Caracterização da Farinha de Castanha (*castanea spp.*) e seu potencial de aplicação em productos de panificação. Universidad Estadual De Campinas.

Vitali D, Dragojevic V and Sebecic B (2009). Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chem.*, 114: 1462-1469.

Weiss A. (2000). *Oilseed Crops*. 2nd ed. Blackwell Science Ltd. Victoria, Australia, pp. 165-203.

Wiseblatt. (1961). Studies to Determinate the Nature of the Damage to the Nutritive Value some Vegetales Oils from Heat Polymerization. *J.Nutrition*. 43, 533.

Zapata L. (2004). Use of oil palm and other vegetable oils in the food industry. Vol.25. Tomo I.

ANEXOS

ANEXO I: OBTENCIÓN DE LA TORTA DESGRASADA EXTRUÍDA DE SACHA INCHI

ANEXO 1.1: Balance de materia para la obtención de torta desgrasada extruída de Sacha Inchi

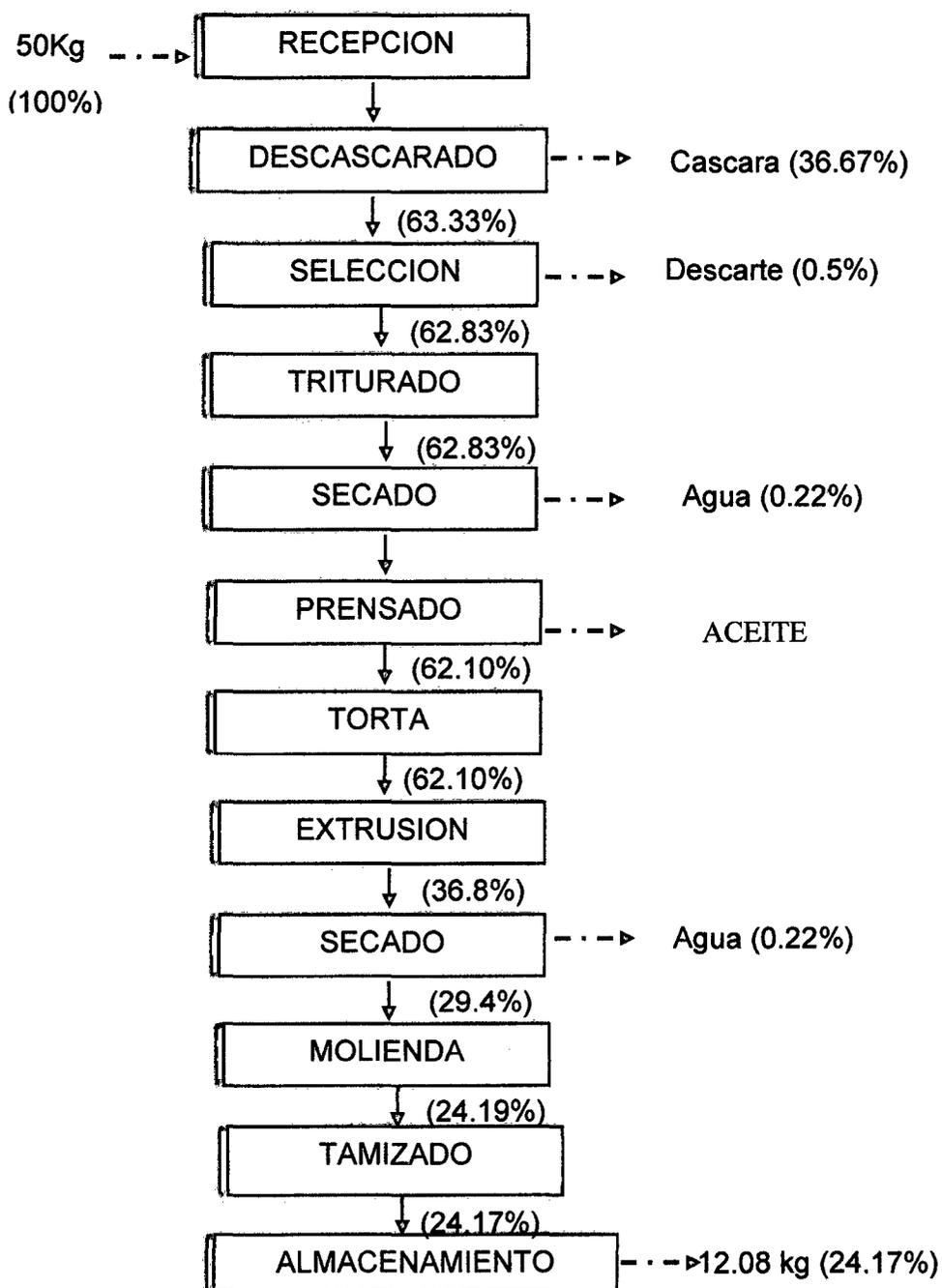


Figura 74: Balance de materia para la obtención de la torta desgrasada extruída de Sacha Inchi

ANEXO II: ANÁLISIS EN LAS HARINAS

ANEXO 2.1: Caracterización químico-proximal de las harinas

ANEXO 2.1.1: Determinación de la humedad en las harinas

Procedimiento:

- Agregar aproximadamente 5g de las muestras sobre la placa del equipo.
- Luego configurar el equipo a la temperatura de 115°C.
- Esperar un tiempo de 10 minutos y luego anotar los resultados arrojados por el equipo.

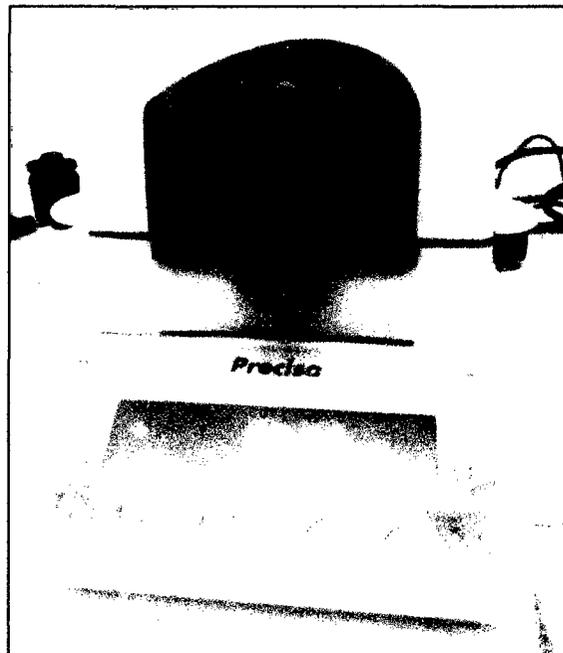


Figura 75: Determinación de la humedad en las harinas

ANEXO 2.1.2: Método de determinación de grasa en las harinas

- Se pesan de 3 a 5g 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 (125ml).
- 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 sifoneado 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 del 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 esperar:

Cálculos:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{(A_2 - A_1)}{m} \times 100$$

Donde: A₂: Peso del balón con hexano etéreo (g)

A₁: Peso del balón vacío (g)

M: Peso de la muestra (g)

ANEXO 2.1.3: Resultados de (%) grasa en cada nivel de sustitución en el pan de molde



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES

“COLECBI” S.A.C.

REGISTRADO EN LA DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS Y DESARROLLO PESQUERO - PRODUCE

INFORME DE ENSAYO N° 3405-14

Página 00 de 01

SOLICITADO POR: SHARO AVELLANEDA TEJADA
 DIRECCIÓN: Urb. Bellamar Mz. G3 Lote 11 2da Etapa Nuevo Chimbote
 PRODUCTO DECLARADO: ABAJO INDICADOS.
 CANTIDAD DE MUESTRA: 08 muestras x 400g c/u
 PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA: En Bolsas de polietileno transparente cerrada.
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2014-11-21
 FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 2014-11-21
 FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO: 2014-11-22
 CONDICIÓN DE LA MUESTRA: En buen estado.
 ENSAYOS REALIZADOS EN: Laboratorio Físico Químico.
 CODIGO COLECBI: SS 001621-14

RESULTADOS

ENSAYOS	MUESTRA	Grasa (%)
Pan de Molde F1 100% Harina de Trigo		6,60
Pan de Molde F2 91,7% Harina de Trigo + 8,3% TDE de Sachainchi		8,87
Pan de Molde F3 75% Harina de Trigo + 25% TDE de Sachainchi		9,47
Pan de Molde F4 87,5% Harina de Trigo + 12,5% TDE de Sachainchi		6,80
Pan de Molde F5 83,3% Harina de Trigo + 16,7% TDE de Sachainchi		6,14
Pan de Molde F6 81,3% Harina de Trigo + 18,7% TDE de Sachainchi		7,49
Pan de Molde F7 93,7% Harina de Trigo + 6,3% TDE de Sachainchi		7,96
Torta Desgrasada Extruida de Sachainchi F8		7,79

METODOLOGIA EMPLEADA

Grasa : UNE 64021 1971

NOTA:

- Muestra recepcionada en Laboratorios COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Noviembre 22 del 2014
 DVY/jms

Denis M. Vargas Yepéz
 Jefe de Laboratorio
 Físico Químico
 COLECBI S.A.C.

LC-MP-HRIE
 Rev. 03
 Fecha 2012-07-27

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 - I Etapa - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752
 Nextel: 839*2893 - RPM # 902995 - Apartado 127
 e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
 Web: www.colecbi.com

ANEXO 2.1.4: Determinación de cenizas en las harinas

Procedimiento:

- Pesar un crisol, previamente en la mufla y enfriado en el desecador.
- Pesar en el crisol 1g de muestra e incinerar en la cocinilla eléctrica hasta total carbonización.
- Colocar la muestra en la mufla y calcinar a 550 – 600°C por 3 a 5 horas, hasta cenizas blancas o blanco grisáceo.
- Retirar el crisol de la mufla y colocarlo en el desecador, enfriar 30 minutos a temperatura ambiente y pesar el residuo.

Cálculos:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P_2 - P_1)}{m} \times 100$$

Donde: P₂: Masa del crisol más cenizas, en (g)

P₁: Masa del crisol vacío, en (g)

M: Masa de la muestra, en (g)



Figura 76: Determinación de cenizas de las harinas

ANEXO 2.2.1: Medición de colorimetría en las harinas

Procedimiento:

- Calibrar el colorímetro.
- Determinar la luminosidad descrita por L^* . El color negro representa una luminosidad de 0 mientras que el color blanco representa una luminosidad de 100. Los parámetros de a^* y b^* se utilizan para evaluar la cromacidad y el ángulo de tonalidad. Para el cálculo se utiliza las siguientes ecuaciones.

$$\text{Cromacidad} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Ángulo de Tonalidad} = \arctg b^* / a^*$$

- Seleccionar el espacio de color en el cual se va a realizar la lectura, tomar una muestra y colocarlo en el colorímetro.
- Realizar 3 lecturas.
- Limpiar el objetivo del colorímetro después de realizada cada una de las lecturas.
- Anotar los valores de los parámetros L^* , a^* , b^* .



Figura 77: Medición de color en las harinas

ANEXO 2.3: Tablas de análisis químico proximal de los panes**Tabla 51: ANOVA para la proteína (%)**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	115.824	19.3057	12 629.91	0.000
Error	14	0.021	0.0015		
Total	20	115.856			

Tabla 52: ANOVA para la Humedad (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	59.2829	9.88048	1092.05	0.000
Error	14	0.1267	0.00905		
Total	20	59.4095			

Tabla 53: ANOVA para las grasas (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	25.9956	4.33260	39558.49	0.000
Error	14	0.0015	0.00011		
Total	20	25.9971			

Tabla 54: ANOVA para las cenizas (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	0.87238	0.145397	33.93	0.000
Error	14	0.06000	0.004286		
Total	20	0.93238			

Tabla 55: ANOVA para los carbohidratos (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	675.087	112.514	4220.80	0.000
Error	14	0.373	0.027		
Total	20	675.460			

Tabla 56: ANOVA para fibra (%)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	6	52.1664	8.69440	11933.49	0.000
Error	14	0.0102	0.00073		
Total	20	52.1766			

ANEXO III: ANÁLISIS REÓLOGICOS DE LAS HARINAS

ANEXO 3.1: Procedimiento para el análisis amilográfico

Los métodos estándares para los test con el Amylograph 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 la muestra real para determinar el peso correcto de la muestra y la cantidad de agua para el test.

A partir de la humedad básica (menú "Options" – "Settings") 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.

- Preparación de la muestra de las mezcla de harina de trigo + Torta desgrasada extruída de Sacha Inchi, según formulación, para una curva de gelatinización. (Volumen estándar 80gr)
Se adiciona la mezcla en matraz Erlenmeyer 400ml de Agua destilada + 80gr de la mezcla de harina y agita, aproximadamente 50 veces por 30 segundo, para que la suspensión quede perfectamente homogénea y sin grumos.
- Colocamos la muestra en el bol medidor del Amylograph.
- Hacemos clic en el botón "Strat" en la ventana de parámetros para empezar el test.
- El sistema determinar automáticamente la tara y en el monitor aparece "tare".
- Después de terminar la tara, el sistema pide que baje el cabezal medidor a su posición de operación.

- El control de T° primero calienta hasta la T° inicial prefijada (23.7°C), tan pronto como se alcanza dicha T°, el control comienza a calentar con el índice de calentamiento prefijado hasta una T° final de 93°C, que se mantiene durante 5 min.
- Después de iniciado el test, el monitor muestra un diagrama con dos ejes: X y Y, donde se representa lo siguiente:
 - ✓ Eje X superior: T° en °C.
 - ✓ Eje X inferior: tiempo de test en (min).
 - ✓ Eje Y: viscosidad de AU (Unidades Amylograph).
- Durante el test, se registra el torque (viscosidad) y aparece online.
- Cuando transcurre el tiempo del test, la transmisión de datos desde el Amylograph se detiene automáticamente. Con los parámetros estándar:
 - ✓ T° inicial: 30°C.
 - ✓ Índice de calentamiento: 1.5 °C/min.
 - ✓ Tiempo total del test: 42 min + 5 min de tiempo de mantenimiento.



Figura 78: Equipo amilográfico

ANEXO 3.2: Procedimiento para el análisis farinográfico

- Según método “Brabender” para la determinación farinográfica se requiere de 300 gr de harina o mezcla de harinas, en este caso de las mezclas de harina de trigo + torta desgrasada extruída de Sacha Inchi, según formulación.
- El equipo consta de un mixer donde se le agrega los 300 gr de mezcla (harina de trigo + torta desgrasada extruída de Sacha Inchi).
- Se agrega agua destilada al tanque reservorio del equipo para su homogenizado a 30°C que exige el método.
- Calibración de la balanza interna del equipo.
- El sistema del equipo nos pide como punto de referencia el porcentaje de humedad de la harina, una vez ingresado el dato procedemos a realizar el análisis donde el equipo calculará el porcentaje de agua con respecto a la cantidad de harina para ser agregados al mixer, para la elaboración de la masa.
- Se agrega 300 gr de harina al mixer del farinógrafo.
- Se agrega 2% de NaCl (para que retenga agua y de elasticidad).
- La cantidad de agua se calculará con el valor de % de agua con respecto al % de humedad, en base a 300 gr de muestra.
- Mezclar por 5 min hasta obtener una masa uniforme.
- Se obtiene como resultado la construcción del farinograma, teniendo 3 curvas construidas:
 - ✓ Curva 1: límite superior
 - ✓ Curva 2: promedio
 - ✓ Curva 3: límite inferior

Además:

Consistencia expresada en FE o U.

- ✓ % de absorción de agua corregido.
- ✓ % de absorción de agua con respecto a % de humedad.

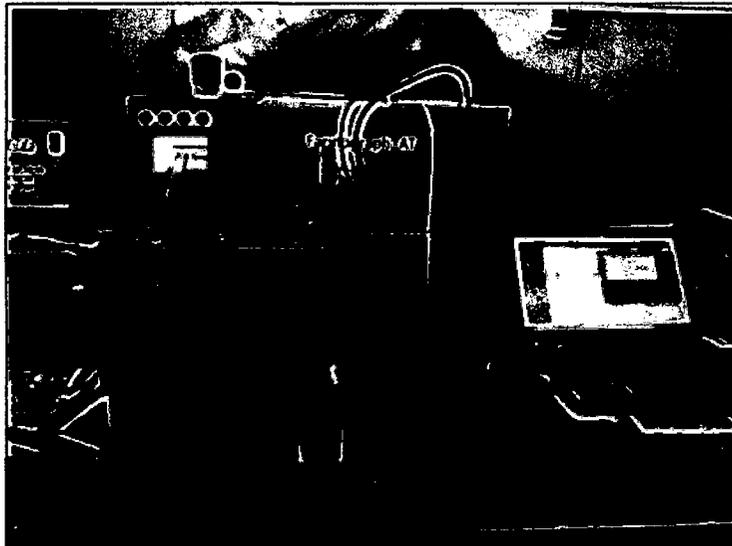


Figura 79: Equipo farinografo

ANEXO 3.3: Procedimiento para el análisis extensográfico

El método de medición con extensograph – E, está determinado por estándares internacionales y nacionales (por ejemplo: Estándar ICC N° 114/1, ISO 5530-2, Estándar AACC N°54-10).

- La preparación de la muestra se realiza en el farinograph, del cual se obtiene la masa.
- De la masa obtenida se pesa 150 gr y se lleva al boleador del equipo.
- Según el método Brabender del Extensograph, nos pide analizar una muestra 3 veces a distintos tiempos: 30, 60 y 90 min.
- Levantamos la cubierta superior del homogenizador a bolas y colocamos una pieza de masa pesada en la caja guía de la masa del homogenizador a bolas.
- Retiramos la masa del homogenizador a bolas.
- Colocamos la bola de masa en la guía en el medio de ranura de admisión del rodillo de la masa.
- 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.
- Mientras que la masa es formada pasando por el rodillo de la masa, abrir una de las cámaras del gabinete de fermentación, tomar una bandeja de masa del soporte de bandejas y volver a cerrar el gabinete de fermentación.
- Colocar la bandeja de la masa sobre el soporte delante del rodillo de la masa.

- Presionar las grampas de la masa con los pasadores guía en las respectivas perforaciones. Al realizarlo los dientes de las grampas de la masa se hunden en la masa y los sostiene así en la bandeja de la masa.
- Abrimos el gabinete de fermentación y colocamos la bandeja de la masa con la masa sobre el soporte de la bandeja de la masa del gabinete de fermentación.
- Exactamente luego de transcurrido el tiempo de fermentación determinado retiramos la cámara del gabinete de fermentación la bandeja de la masa.
- Iniciamos la medición, ponemos en marcha el accionamiento para el dispositivo de extensión.
- Ahora la palanca de extensión baja a velocidad constante y estira el tramo de masa de la muestra hasta la rotura. La fuerza actuante en el Extensograma se consigna como función del tiempo.
- 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.
- Repetimos el mismo procedimiento para los tiempos de 60 y 90 min.
- Los resultados son:
 - ✓ Resistencia de la extensión
 - ✓ Extensibilidad
 - ✓ Resistencia máxima

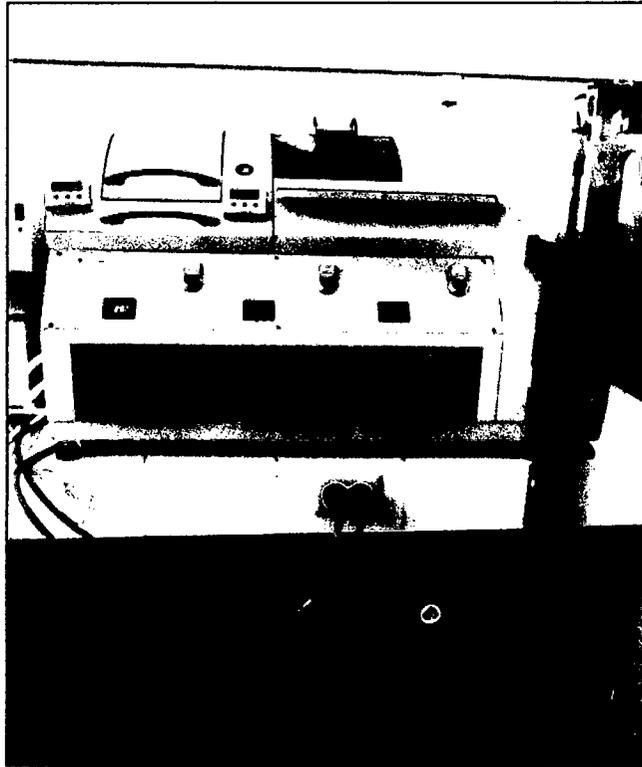


Figura 80: Equipo extensografo



Figura 81: Simulación de boleado

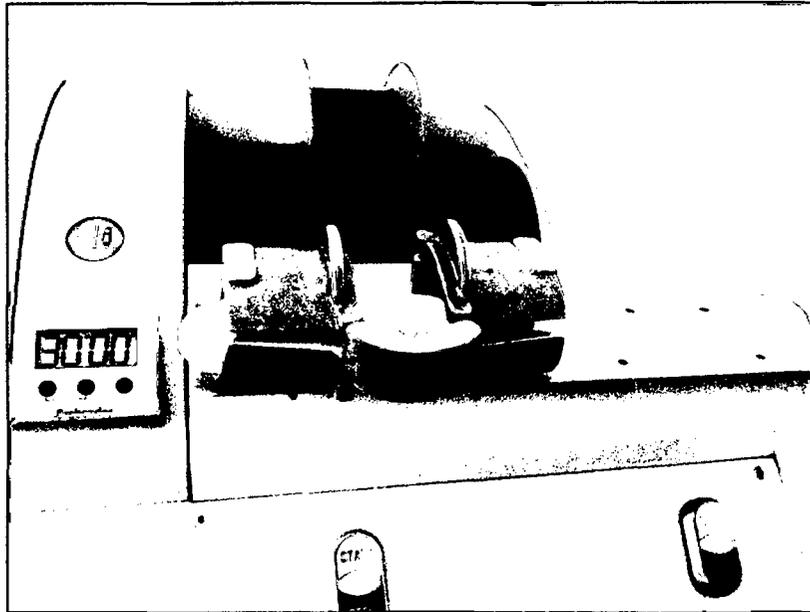


Figura 82: Simulación de la fermentación

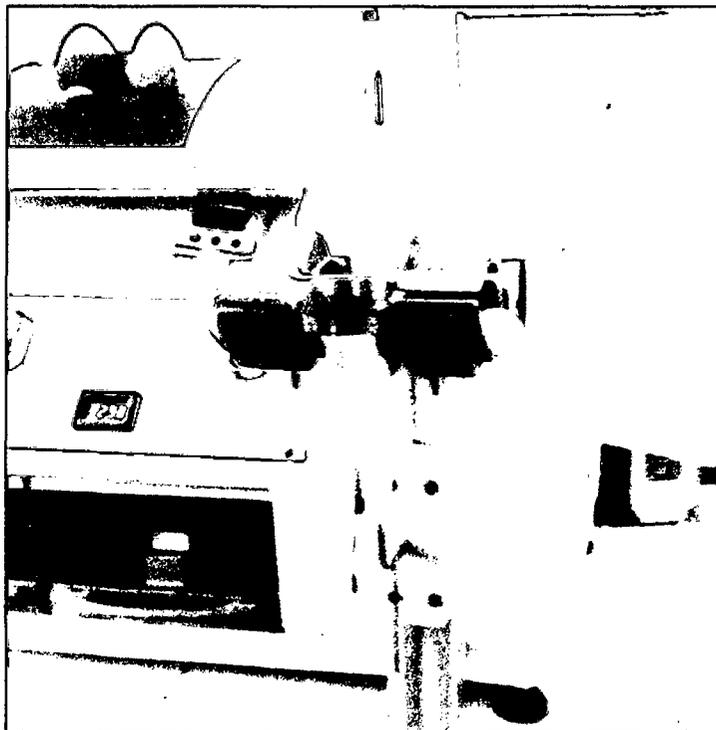


Figura 83: Prueba de elasticidad

ANEXO IV: OTROS ANÁLISIS REALIZADOS

ANEXO 4.1: Procedimiento para la determinación del volumen específico

- Se colocó el pan de molde en un recipiente geométrico que contiene alpiste.
- Luego se procede a desplazar todas aquellas semillas que fueron desplazadas por el pan.
- Mediante una probeta medimos la cantidad de volumen que ocupó el pan.
- Este procedimiento se realiza por triplicado.

Cálculos:

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Volumen del pan de molde (ml)}}{\text{Masa (g)}}$$

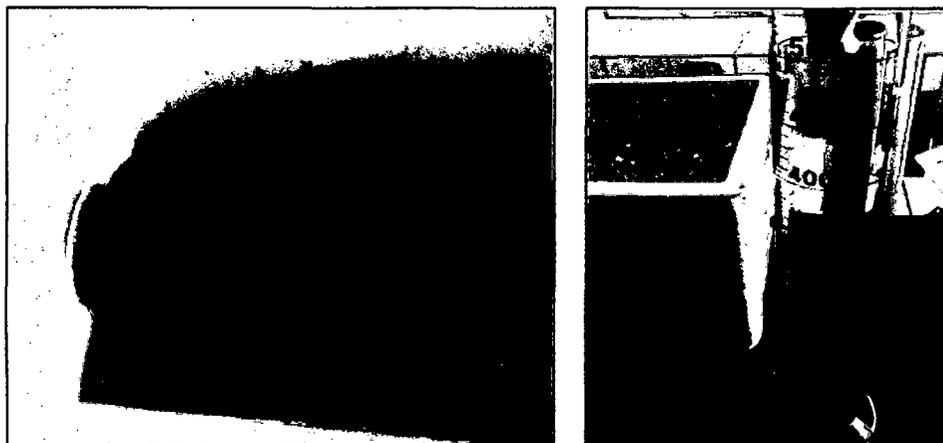


Figura 84: Determinación del volumen específico del pan de molde

ANEXO 4.2: Procedimiento del análisis de textura para el pan de molde

- Se colocó 3 rebanadas de pan de molde de las 7 formulaciones sobre el texturómetro Texture Analyzer del Laboratorio de Análisis y Composición de los Alimentos.
- Para ello se utilizó una probeta #2: TA 4/1000 Cilíndrico, 38.1 mm de diámetro y 20 mm de altura.
- Se procedió a tomar datos en tres réplicas.

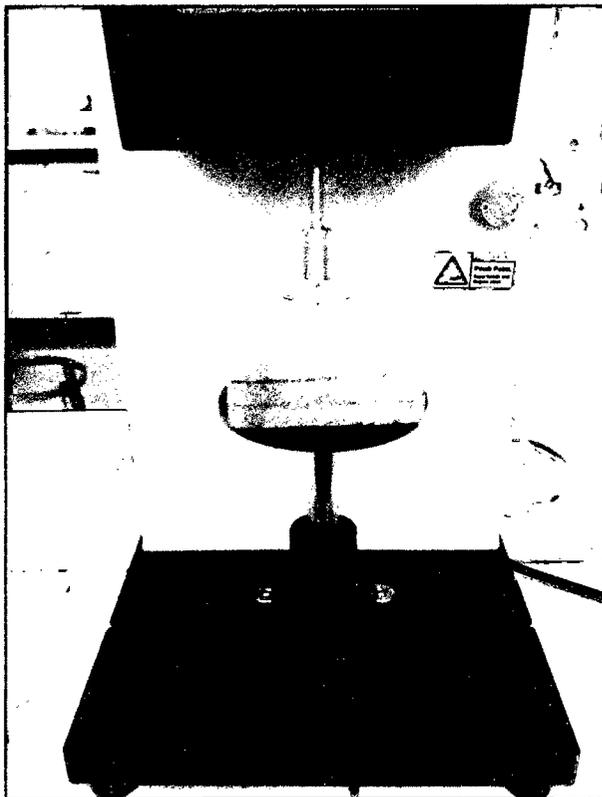


Figura 85: Análisis de textura

ANEXO V: ELABORACIÓN DEL PAN DE MOLDE



Figura 86: Elaboración del pan de molde

- 1) Amasado – 2) Moldeado – 3) Fermentación – 4) Horneado – 5) Rebanado
– 6) Embolsado

ANEXO VI: EVALUACIÓN SENSORIAL

ANEXO 6.1: Ficha de evaluación sensorial

FECHA: _____

SEXO: MASCULINO

EDAD: _____

FEMENINO

Por favor, pruebe cada una de las muestras codificadas y evalúe utilizando la escala mostrada en la parte inferior de la hoja, colocando el número que usted considere el más apropiado.

- 9 Me gusta muchísimo
- 8 Me gusta mucho
- 7 Me gusta moderadamente
- 6 Me gusta ligeramente
- 5 Ni me gusta/ Ni me disgusta
- 4 Me disgusta moderadamente
- 2 Me disgusta mucho
- 1 Me disgusta muchísimo

Muestra	Apariencia	Color	Aroma	Textura	Sabor

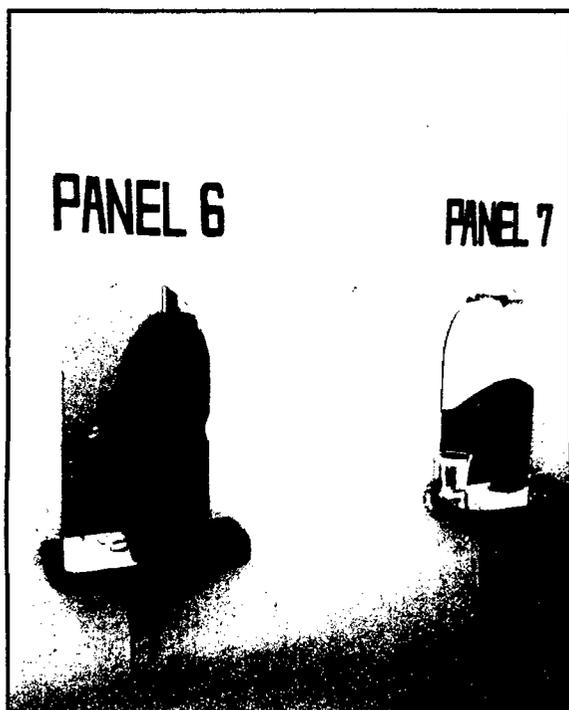


Figura 87: Panelistas



Figura 88: Prueba de aroma y textura



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

OFICINA CENTRAL DE INVESTIGACION

“CATALOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACION Y TESIS-TIPRO”

Resolución N°1562-2006-ANR

RESUMEN DE TRABAJOS DE INVESTIGACION Y TESIS

I. DATOS GENERALES (Pre-Grado)

Universidad: Universidad Nacional Del Santa

Facultad: Ingeniería

Escuela Académica Profesional: Ingeniería Agroindustrial

Título del Trabajo: “Evaluación De La Calidad Del Pan De Molde Enriquecido Con Torta Desgrasada Extruida De Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis L.)”

Autores: Avellaneda Tejada Sharo Felicita (DNI 46518207)

Pardo Mariluz Raisa Stefany (DNI 46890445)

II. CONTENIDO DEL RESUMEN

- METODOLOGÍA:

Se obtuvo torta desgrasada extruida de sachá mediante operaciones de secado (50°C por 1.5 h), prensado (35 rpm, 70°C), extrusión (120°C, 140 PSI) y secado (50°C por 2.5 h).

Partiendo del cómputo químico y utilizando un diseño de mezclas del programa Desing Expert versión 9, se



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



establecieron 7 formulaciones con niveles de sustitución de 6.3%, 8.3%, 12.5%, 16.7%, 18.7%, 25% y un control.

Posteriormente se evaluaron las características reológicas de las mezclas. Se elaboraron los panes de molde utilizando el método directo. Finalmente se evaluaron las características físicas, análisis químico proximal, perfil de ácidos grasos y los atributos sensoriales.

- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

¿Cuál será el efecto del enriquecimiento de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi en la calidad pan de molde?.

- **OBJETIVOS:**

- Obtener torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.
- Caracterizar físico-químicamente la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.
- Estudiar las propiedades reológicas de las masas de las diferentes formulaciones.
- Evaluar las características fisicoquímicas del pan de molde en las diferentes formulaciones.
- Realizar el análisis proximal de las diferentes formulaciones del pan de molde.
- Realizar los análisis sensoriales del pan molde.



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



- Determinar la mejor formulación en el pan de molde.
- Determinar el perfil de ácidos grasos de la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, mediante cromatografía de gases y del pan enriquecido de mayor aceptabilidad.

- **HIPÓTESIS:**

La mejor calidad en el pan de molde será obtenida con sustitución parcial de 12.5 % de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi y organolépticamente no presentará diferencias significativas del pan estándar.

- **REFERENCIA AL MARCO TEÓRICO:**

Las semillas oleaginosas por su calidad nutritiva, son una alternativa promisoría para cubrir las deficiencias de la mal nutrición en la población. El Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) es una planta oleaginosa silvestre y trepadora de la Amazonia peruana. Hamaker et al. (1992), reportó un contenido de 54% de aceite y 27% de proteínas para las semillas de sachá Inchi y 53% para la torta desgrasada. El perfil de aminoácidos fue superior en algunos aspectos con respecto a otras oleaginosas a excepción de la lisina (43 mg frente a 58 mg/g de proteína) y leucina (64 frente a 66 mg/g de



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



proteína) requeridos Comparado al patrón que recomienda la FAO/WHO/UNU. (Hamaker et al. 1992 y Hurtado, 2013).

La extrusión tiene varias ventajas, como la reducción de la carga bacteriana, inactivación de algunas enzimas y factores antinutricionales, y modificación de las características sensoriales. No obstante cambian las propiedades nutricionales y funcionales del producto. (Gil, 2010).

El Sacha Inchi surge como una de las especies con potencial para ser la fuente de alimentos saludables en el futuro. Aunque menos común en formulaciones alimenticias que otros cereales, el sachu inchi debido a sus bondades presenta efectos benéficos para la salud de las personas en la prevención de enfermedades como artritis, cáncer, entre otros. (Swieca M., et. al 2014).

- **CONCLUSIONES:**

- Para esta investigación se determinó como mejor sustitución. El pan de molde enriquecido con 6.3% de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi.
- Se verifico que, la incorporación de torta desgrasada extruida de Sacha Inchi en la elaboración de panes de molde en las diferentes sustituciones estudiadas presento resultados satisfactorios en referencia al aspecto nutricional.



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



- El análisis del perfil de ácidos grasos presentó un contenido de 1.69% en ácido alfa linolénico (Ω -3) para la muestra de pan de la mejor sustitución, el cual está dentro del rango establecido por la FAO considerándola como un importante alimento con propiedades funcionales que ayudara a mantener niveles saludables de triglicéridos, entre otros beneficios para la salud.
- Las propiedades reológicas estudiadas, mostraron que la torta desgrasada extruida de Sacha Inchi, cuando es adicionada a la harina de trigo tiende a debilitarla, actuando como diluyente del gluten.
- El análisis instrumental de color para la miga mostró que los panes elaborados con torta desgrasada extruída de Sacha Inchi tienden ser más oscuros en relación al pan control.

- **BIBLIOGRAFÍA:**

- Antonioli F., Arfini F. (2013). SACHA INCHI. Investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de Indicación Geográfica en el Perú.
- Demirkesen I., Behic M., Gulum s., Serpil S. (2010). Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. Journal of food engineering. 101, 329-336.



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



- EL-DASH, Camargo O. (1982). Fundamentos da Tecnologia de panificação. Sao Paulo, Comercio e Tecnologia, 400 p.
- FAO (2006). Alimentación y nutrición. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. Consulta de expertos. Ginebra.
- Follegatti R., Piantino C., Grimaldi R., Cabral F. (2009) Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seedes. Journal of Supercritical Fluids 49, 323–329
- Gil A. (2010). Composición y Calidad Nutritiva de los alimentos. Tratado de Nutrición. Segunda Edición. Tomo II, 684.687.
- Hamaker R., Valles C., Gilman R., Hardmejer M., Clark D., Garcia H., Gonzales E., Kohlsted I., Castro M., Valvidia R., Rodriguez T., Lescano M. (1992). Amino Acid and Fatty Acid Profiles of the Inca Peanut (*Plukenetia volubilis*). Cereal Chemist. 49, 461-463.
- Hurtado Z. (2013). Analisis composicional de la torta y aceite de semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) cultivada en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Matthews R., Sharpe E., Clark W. (1970). The use of some oilseed flours in bread. 1970. Human Nutrition Research Division, Agricultural Research Service, 37, 181-188.



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



- Mondragón G. (2009). Estudio farmacognóstico y bromatológico de los residuos industriales de la extracción del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha inchi). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica.
- Pariona N. (2008). Obtención de los ácidos grasos del aceite de la *Plukenetia volubilis* L. Sacha Inchi para la utilización en la industria y estudio fotoquímico cualitativo de la almendra. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Pascual G., Mejía M., Extracción Y Caracterización De Aceite De Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Anales Científicos UNALM. 2000; 42: 146-160
- Swieca M., Seczyk L., Gawlik-Dziki U., Dariuuz D. (2014). Bread enriched with quinoa leaves-The influence of protein-phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. Food Chemistry. 162, 54-62.