



Pan de molde enriquecido con torta extruida de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Química, reología, textura y aceptabilidad

Bread loaf enriched with extruded cake from sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Chemistry, rheology, texture and acceptability

Gilbert Rodríguez^{*}; Sharom Avellaneda; Raiza Pardo; Eudes Villanueva; Elza Aguirre

Universidad Nacional del Santa, Urb. Bellamar s/n, Chimbote, Perú.

Received September 14, 2017. Accepted April 30, 2018.

Resumen

Se estudió la sustitución parcial de harina de trigo por torta extruida de sachá inchi (SI) en seis diferentes niveles para la elaboración de pan de molde. Evaluándose principalmente la composición química, propiedades reológicas, perfil de ácidos grasos, textura de la miga, color y evaluación sensorial. Se ha determinado que la incorporación de la torta extruida de SI en las formulaciones incrementó significativamente ($p < 0,05$) los niveles de cenizas, fibra, grasas y proteínas, asimismo disminuyó el contenido de carbohidratos. Las mejores propiedades reológicas de farinografía, amilografía y extensografía fueron obtenidas con la incorporación de 6,3 % de torta extruida de SI ($p < 0,05$), donde se destaca una retención de 3,33 % de ácido α -linolénico (ω -3), aumento de textura (61,39 mJ) y oscurecimiento en la miga ($L^* = 73,13$, $C^* = 16,35$, $h^\circ = 86,70$). Finalmente, la evaluación sensorial revela que no existe diferencia significativa entre el control y la incorporación de 6,3% de torta extruida de SI en los panes de molde para los atributos de color, apariencia, aroma, sabor y textura ($p < 0,05$).

Palabras clave: pan; torta extruida de sachá inchi; composición química; atributos sensoriales; propiedades reológicas.

Abstract

The partial substitution of wheat flour for extruded cake of sachá inchi (SI) in six different levels for the elaboration of bread loaf was studied. Mainly evaluating the chemical composition, rheological properties, fatty acid profile, crumb texture, color and sensory evaluation. It has been determined that the incorporation of extruded cake of SI in the formulations significantly increased ($p < 0.05$) levels of ash, fiber, fat and protein, also decreased the carbohydrate content. The best rheological properties of farinography, amylography and extensography were obtained with the incorporation of 6.3% of SI extruded cake ($p < 0.05$), which highlights a retention of 3.33% of α -linolenic acid (ω -3), texture increase (61.39 mJ) and darkening in the crumb ($L^* = 73.13$, $C^* = 16.35$, $h^\circ = 86.70$). Finally, the sensory evaluation reveals that there is no significant difference between the control and the incorporation of 6.3% of extruded cake of SI in the mold loaves for the attributes of color, appearance, aroma, flavor and texture ($p < 0.05$).

Keywords: bread; extruded sachá inchi cake; physico-chemical composition; sensory attributes; rheological properties.

1. Introducción

El sachá inchi (SI) es una planta oleaginosa silvestre y trepadora, crece en las tierras bajas de la Amazonía peruana, ha sido cultivado desde hace siglos por la población indígena. Las semillas de SI son

ricas en grasas (41 – 54 %) y proteínas (25 – 27 %). El aceite de SI tiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (85 %), conocidos como omegas ω -3 y ω -6 (Chirinos *et al.*, 2013). El SI surge como una de las especies con potencial para ser

^{*} Corresponding author
E-mail: giropape@yahoo.com (G. Rodríguez).

fuentes de alimentos saludables en el futuro, aunque menos común en formulaciones alimenticias que otros cereales, el SI debido a sus bondades presenta efectos benéficos para la salud de las personas en la prevención de enfermedades como artritis, cáncer, entre otros (Sivam *et al.*, 2010; Chirinos *et al.*, 2015).

El desarrollo de productos fáciles de comer, tales como aperitivos y cereales instantáneos, que se mejoran mediante la adición de componentes funcionales, tales como fibra y antioxidantes, es una tendencia de consumo creciente. Estos productos han sido desarrollados mediante el uso de tecnologías versátiles de bajo costo, como los procesos de cocción por extrusión la cuales se ven afectadas por una combinación de varios factores, tales como el contenido de humedad, la presión-temperatura y la velocidad del tornillo, que causan transformaciones físicas y químicas en el producto final afectando a la calidad del producto (Leyva-Corral *et al.*, 2016).

El pan es el alimento básico principal en muchos países del mundo y se prepara sobre todo de la harina de trigo refinada. Nutricionalmente, la amplia gama de panes blancos proporciona energía, proteínas, minerales y micronutrientes (Shin *et al.*, 2013; Acosta-Estrada *et al.*, 2014), pero la calidad nutricional de la proteína no es adecuada debido a los bajos niveles de lisina presente en la harina de trigo. El reemplazo parcial de harina de trigo por harinas ricas en proteínas es difícil porque no contienen proteínas que forman gluten y por lo tanto no son funcionales, especialmente en sistemas de pan con levadura (Lazo-Velez *et al.*, 2015).

Existen estudios de elaboración de pan con sustitución de diferentes fuentes alimentarias ricas en proteínas tales como las provenientes de semillas de sésamo (El-Adawy, 1995), arroz (Mellado y Haros, 2016), linaza (Osuna, 2016), quinua (Gawlik-Dziki *et al.*, 2015) acha y bambara (Enyinnaya *et al.*, 2016).

Una de las fuentes proteicas más estudiadas en elaboración de pan ha sido la harina de soja desgrasada y no desgrasada en la que se ha comprobado que su adición incrementa la absorción y la retención de humedad en especial para la harina desgrasada, lo que aumenta la frescura o textura del producto, cuyas formulaciones ubicadas entre 3 y 7 % han sido probadas en alimento para ratas con resultados que demuestran una alta eficiencia alimentaria (Mahmoodi *et al.*, 2014). Sin embargo, si se incorpora una gran cantidad de proteína de soja en la harina de trigo, se produce una

disrupción de las proteínas formadoras de gluten afectando negativamente el volumen, las puntuaciones de miga, atributos de calidad general y aceptabilidad (Shin *et al.*, 2013).

Se ha determinado que la producción de harinas duras enriquecidas con antocianinas y trigos blandos pigmentados por clasificación del aire, como ingrediente potencial para pan funcional, generan reducciones significativas en el índice glucémico además de obtener aroma agradable y buen gusto en el producto final (Ficco *et al.*, 2018). La adición de tallo de alcachofa en polvo para la formulación de panes ha sido evaluada *in vitro*, probando que la capacidad antioxidante y la actividad inhibidora de la α -glucosidasa del extracto duodenal se correlacionaron con la cantidad de polvo de tallo de alcachofa incluidos en pan, probando ser un ingrediente funcional valioso para crear un entorno reductor en el intestino y modular parcialmente el metabolismo de la glucosa (Colantuono *et al.*, 2018). También es posible producir un pan sin gluten enriquecido con una cantidad significativa de harina de teff (25%), mejorando las propiedades nutricionales, físicas y una tasa de envejecimiento más baja con respecto del pan control sin gluten (Marti *et al.*, 2016).

Este estudio indica que es posible producir un pan sin gluten enriquecido con una cantidad significativa de teff (25%), mejorando las propiedades nutricionales del pan control sin gluten.

En este marco el objetivo de esta investigación fue evaluar la sustitución parcial de harina de trigo por torta extruida de SI sobre las propiedades de la masa reológica y la calidad de los panes para desarrollar un producto nutricionalmente adecuado con más proteínas, ácidos grasos y sin ningún efecto indeseable en sus características sensoriales siendo aceptables por el consumidor, lográndose de esta forma otorgar un valor agregado a la torta desgrasada de SI producida en la industria del aceite.

2. Materiales y métodos

2.1 Materia prima

Se adquirió 50 kg de semillas de SI proveniente del fundo familia Kasay, carretera Iberia Km 39 Interoceánica Sur. Puerto Maldonado-Madre de Dios, Perú. Las semillas presentaron una humedad de $9,01 \pm 0,03$ % estas fueron sometidas a un proceso de prensado en frío en un equipo SEW-EURODRIVE (Modelo: FA57/G, Germany) con una velocidad de tornillo de

40 rpm y temperatura máxima de 40 °C, posteriormente se obtiene la torta desgrasada de SI la cual se acondiciona a 20 % de humedad y luego fue extruida en un equipo extrusor (Imbra, modelo labor pqdrx-50, Brasil) de doble tornillo con un diámetro de boquilla de 8 mm, temperatura de salida de 120 °C y presión de 140 kPa.

2.2 Composición química de torta extruida de SI y formulaciones de pan

La humedad se determinó mediante el método gravimétrico en una estufa (POL.EKO, modelo SLW-115STD, USA) con la AOAC 931,04, las proteínas se determinaron según el Método Kjeldahl AOAC 2001,11 en un equipo (Foss-Labtec™ LINE, China), el contenido de grasa se obtuvo en un equipo extractor de grasa (Foss, modelo SOXTEC™ 2043, China), usando hexano como solvente según la metodología AOAC 963,15. Las cenizas fueron calculadas por incineración de la materia orgánica en una mufla (Thermo Scientific™, modelo Barnstead Thermolyne™, USA), basado en la metodología AOAC 972,15. Las determinaciones de fibra fueron realizadas en los según el método NMX-F-090-1978 en un equipo FOSS (modelo Fibertec™ 1023, China), el cual se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda. Finalmente, la determinación de carbohidratos fue realizada por diferencia: % Carbohidratos = 100 – (% Proteínas + % Grasas + % Cenizas + % Fibra + % Humedad)

2.3 Propiedades reológicas de la masa para formulaciones de pan

Las propiedades reológicas de la masa para la elaboración de las formulaciones del pan fueron evaluadas en un amilógrafo (Bradender, modelo 800250, Germany) de acuerdo al método AACC 22-10; farinógrafo (Bradender, modelo 810161.001, Germany) según el método AACC 54-21 y finalmente en un extensógrafo (Bradender, modelo 860723, Germany) según el método AACC 54-10.

Tabla 1

Formulación para la elaboración de pan de molde

Ingredientes (%)	Formulación						
	F1 (Control)	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Harina de trigo	100	91,7	75	87,5	83,3	81,3	93,7
Torta extruida de SI	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

2.4 Elaboración de pan de molde

Se elaboraron panes en base a 7 formulaciones, de acuerdo a la [Tabla 1](#).

2.5 Perfil de ácidos grasos

La composición de ácidos grasos del pan de molde y la torta extruida de SI se determinaron de acuerdo al método FAMES AOAC 991,39 en un cromatógrafo de gases (Shimadzu, modelo GC-2010, Japón), equipado con un detector de ionización de llama (FID) y un muestreador automático Shimadzu AOC – 20 Si. Una columna capilar de sílice SP Rt™ - 2560 (100 m x 0,25 mm con 0,20 µm film) se utilizó helio como gas portador a una velocidad de flujo de 30 ml/min y presión de 261,5 kPa. El Volumen de inyección fue de 1 µl. Temperatura del inyector fue programada a 225 °C y el detector a 250 °C. La temperatura del horno fue programada: temperatura inicial 100 °C por 4 min, luego a 240 °C con una velocidad de 3 °C/min por 10 min.

2.6 Textura de la miga y color de los panes

La textura de los panes fue evaluada en un analizador de textura (Brookfield, modelo CT3-4500, USA) con una probeta número 2 (TA 4/1000) y un cilíndrico de 38,1 mm de diámetro y 20 mm de altura. El color de las muestras se determinó con colorímetro (Konica Minolta, Chroma Meter CR-400, Japón) siguiendo el sistema CIE-lab, determinándose los parámetros de L*, luminosidad, a* (- verde / + rojo) y b* (- azul / + amarillo) además de la cromaticidad (C*) y el ángulo de tonalidad (h°).

2.7 Evaluación sensorial

Treinta panelistas semientrenados evaluaron todas las 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 \(2014\)](#).

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.

2.8 Análisis estadístico

Las diferencias estadísticas se estimaron a partir del ANOVA a un nivel de significancia del 5% ($p < 0,05$). Se realizó una comparación de medias por la prueba tukey utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16.

3. Resultados y discusión

3.1 Composición química de torta extruida de SI

Las semillas de SI después de ser prensadas obtienen un porcentaje de aceite de 37,9% y de torta desgrasada de 62,1%, luego la torta desgrasa es extruida y posteriormente molida para finalmente presentar una granulometría uniforme con olor sui generis y sabor ligeramente astringente.

El análisis proximal de la torta desgrasada extruida de SI en primera instancia evidencia un bajo contenido de humedad en $5,60\% \pm 0,05\%$ similar a los presentados por Mondragón (2009) y por Pascual y Mejía (2000) esto debido al efecto de la temperatura sobre la humedad relativa durante el proceso de extrusión, así mismo el contenido de proteínas fue de $55,71\% \pm 0,20\%$ que presenta similitud al $58,61\%$ reportado por Pascual y Mejía (2000) y superior al $48,74\%$ de Mondragón (2009).

La composición lipídica en la torta presenta un valor de $4,79\% \pm 0,20\%$, siendo adecuado para el funcionamiento del extrusor, ya que valores superiores al 10% pueden impedir dicho funcionamiento; El contenido de grasa es inferior a lo reportado por Pascual y Mejía (2000) y Mondragón (2009) estas diferencias encontradas se podrían atribuir a diferencias de variedades y

condiciones climáticas de la muestra, así como al proceso de extracción de aceite, ya que el reporte de Mondragón (2009) realizó solo un desgrasado parcial. En cuanto al contenido de cenizas, la torta presenta un valor $5,83\% \pm 0,20\%$ cuyo resultado es ligeramente menor al $8,72\%$ encontrado por Pascual y Mejía (2000) y mayor al $3,24\%$ reportado por Mondragón (2009) el incremento de cenizas en la torta puede ser atribuido presencia de minerales como el hierro que son que son adheridos a la torta por parte del doble tornillo durante el proceso de extrusión (Mondragón, 2009). Finalmente, el contenido de fibra fue de $6,60\% \pm 0,10\%$ y de carbohidratos $21,47\% \pm 0,10\%$ próximo a los valores encontrados por Mondragón (2009) ($3,16\%$ y $22,02\%$).

3.2 Composición química de las formulaciones de pan

La incorporación de la torta extruida de SI en las formulaciones incrementó significativamente ($p < 0,05$) los niveles de cenizas, fibra, grasas y proteínas, asimismo disminuyó el contenido de carbohidratos (Tabla 2). 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 (Mellado y Haros, 2016).

El valor energético en todas las formulaciones fue menor en comparación al pan control. Estos resultados fueron menores a los obtenidos por Justo et al. (2007) en panes que contenían soya: chíca (10: 5), soya: chíca: linaza (10: 5: 5), con valores de 422,3 y 419,1 kCal/100 g. 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 (Almeida, 2013; Mis y Dziki, 2013). El contenido de humedad en la composición de los panes incrementó con la sustitución de torta extruida de SI los valores varían entre $24,47\%$ (F7) a $29,30\%$ (F4).

Tabla 2
Composición química de panes formulados con torta extruida de SI

Formulación	Proteínas	Grasas	Humedad	Cenizas	Fibra	Carbohidratos	V.E (kcal)
F1 (control)	7,51±0,1 ^g	6,67±0,5 ^f	26,50±0,4 ^d	2,30±0,5 ^c	0,35±0,05 ^g	56,67±0,5 ^a	316,75
F2	10,85±0,2 ^e	8,86±0,8 ^b	26,30±0,2 ^d	2,37±0,6 ^c	4,02±0,05 ^e	47,62±0,7 ^c	313,62
F3	15,12±0,5 ^a	9,46±1,0 ^a	29,17±0,5 ^a	2,87±0,3 ^a	5,55±0,05 ^a	37,83±0,6 ^f	296,94
F4	11,83±0,7 ^d	6,81±0,4 ^e	29,30±0,4 ^a	2,63±0,6 ^b	4,20±0,05 ^d	45,23±0,8 ^d	289,53
F5	12,75±1,0 ^c	6,15±0,7 ^g	28,67±0,6 ^b	2,63±0,3 ^b	4,60±0,05 ^c	45,20±1,0 ^d	287,15
F6	14,10±0,3 ^b	7,48±1,1 ^d	28,37±0,5 ^c	2,73±0,7 ^{ab}	5,04±0,05 ^{bb}	42,32±1,1 ^e	293,00
F7	10,34±0,8 ^f	7,67±0,3 ^c	24,47±0,9 ^e	2,32±0,5 ^c	3,82±0,05 ^f	51,40±0,4 ^b	315,99

Valores con la misma letra dentro del grupo no son significativamente diferentes en $p < 0,05$.
V.E: Valor energético.

Tabla 3

Propiedades amilográficas y farinográficas de masas enriquecida con torta extruida de SI.

Formulación	Propiedades amilográficas			Propiedades farinográficas			
	Inicio de Gelatinización (°C)	Temperatura de Gelatinización (°C)	Máximo de Gelatinización (AU)	ABS (%)	DDT (min)	S (min)	MTI (UF)
F1 (control)	62,1	91,0±0,49 ^a	1349±1,53 ^a	61,4± 1,08 ^c	4,0±0,09 ^b	7,4±0,06 ^a	55±1,10 ^e
F2	62,3	89,0±1,00 ^b	960±2,00 ^c	61,2± 0,21 ^c	3,9±0,13 ^b	5,5±0,10 ^c	96±0,60 ^c
F3	63,1	90,0±0,38 ^{ab}	630±3,51 ^g	65,7± 0,51 ^a	6,0±0,09 ^a	3,5±0,03 ^e	102±0,74 ^b
F4	62,6	90,4±0,26 ^a	838±1,00 ^d	62,1± 0,93 ^{bc}	3,5±0,07 ^c	5,5±0,10 ^c	102±0,20 ^b
F5	63,0	90,0±0,15 ^{ab}	744±1,53 ^e	64,4± 0,64 ^{ab}	3,5±0,06 ^c	4,3±0,06 ^d	109±0,80 ^a
F6	63,5	89,3±0,53 ^{ab}	655±2,08 ^f	65,7± 2,01 ^a	3,5±0,06 ^c	4,2±0,03 ^d	108±1,40 ^a
F7	62,4	90,5±0,29 ^a	986±1,53 ^b	61,9± 0,60 ^{bc}	3,5±0,10 ^c	6,4±0,05 ^b	71±0,80 ^d

C=Consistencia, ABS= Absorción de agua, DDT= Tiempo óptimo de desarrollo, S= Estabilidad, MTI= Índice de tolerancia. Los datos que no comparten una misma letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$). (n=3).

3.3 Propiedades reológicas en la masa de formulaciones de pan

Los resultados de las pruebas amilográficas se muestran en la [Tabla 3](#), donde el máximo valor de temperatura gelatinización le corresponde al control, el cual no presenta diferencia significativa con F7 ($p < 0,05$), la temperatura de formación de pasta depende de la concentración de almidones, mientras que la temperatura de inicio de gelatinización está relacionada a la naturaleza de las interacciones entre los componentes del almidón ([Gonzales y Pacheco - Delahaye, 2006](#)).

El máximo de gelatinización también le corresponde al control y presenta diferencia significativa con todas las demás formulaciones ($p < 0,05$) esto evidencia claramente la caída en la gelatinización debido a la presencia de la torta desgrasada extruida de SI, resultados similares reportó [Gómez *et al.* \(2011\)](#), 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.

Los resultados farinográficos muestran que la harina de trigo utilizado como se denota puede ser clasificada como harina de fuerza media, mientras que, en el caso de mezclas, parece que la adición de la torta desgrasada extruida de SI es responsable de afectar significativamente los parámetros analizados, harinas que exhiben valores de ABS inferior a 55% no se recomiendan para horneado ya que no permite fenómenos esenciales para la obtención de productos de calidad.

En cuanto el parámetro de absorción de agua (ABS), se observa que cuanto mayor es la adición de torta desgrasada extruida de SI en las formulaciones, se obtienen valores más altos especialmente F3 y F6, la

muestra control no presenta diferencia significativa con F7 ($p < 0,05$), [Varanda \(2014\)](#) también observó un incremento significativo en la ABS en masas enriquecidas con 30 % de harina de castaña, un caso parecido ocurre con la harina de garbanzos ([Mohammed *et al.*, 2011](#)). El aumento de ABS 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 ([El-Adaway, 1995](#); [Mohammed *et al.*, 2011](#)).

El tiempo óptimo de desarrollo (DDT) encontrado en este trabajo fue de 4 min para la F1, por el contrario, [Almeida \(2006\)](#) y [Varanda \(2014\)](#), encontraron valores de 10,55 y 9 min respectivamente, cuyos valores son lejanos al presente estudio, lo que indica que se trataría una harina de fuerza media. Además, se registró que entre las formulaciones F4, F5, F6 y F7 no presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$). En este trabajo se verifico que la adición de fuentes de fibra y proteínas a la harina de trigo influenció en el tiempo de desarrollo de la masa, reduciéndola a excepción F3. El DDT 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 ([Da Silva *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 extruida de SI, tienden al debilitamiento de la mezcla y, en consecuencia, dan como resultado una disminución en el tiempo de desarrollo. La estabilidad (S) 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](#)). Los resultados presentan una caída en la estabilidad de las muestras con respecto al tratamiento control, especialmente F3.

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. Asimismo, los valores más bajos se presentan en F5 y F6, 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 una mejor calidad de harina.

El índice de tolerancia (MTI) 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 UF (Unidades Farinográficas), los resultados muestran los valores más bajos al control y a F7, por otro lado, los valores más elevados lo presentan F5 y F6, esto podría estar relacionado a la composición fisicoquímica de la torta desgrasada extruida de SI, por el contenido de proteínas, azúcares y fibra. Borges *et al.* (2003) encontró valores de MTI para la harina de trigo y mezclas con harina de quinua con 10% y 20% de sustitución, de 38,9 y 50 UF respectivamente, confirmándose que la adición de diluyentes de gluten a la harina de trigo tiende a debilitarla en términos de resistencia a la mezcla.

Por último, el análisis extensográfico se muestra en la [Tabla 4](#) a diferentes tiempos, el cual evalúa la resistencia (R) de la masa del pan a la extensión, correspondiente a la media de energía necesaria para estirar la masa (BU), encontrándose los mayores valores de resistencia en los tiempos de 60 y 90 min para la formulación F7.

La extensibilidad (E) no presenta diferencia significativa entre las muestras F1 y F7 para los 30 y 60 min, pero este si se manifiesta a los 90 min ($p < 0,05$). Para ambos casos es evidente la influencia sobre R y E por parte de las diferentes

sustituciones. Si bien no existen datos bibliográficos respecto a los cambios introducidos por la torta desgrasada extruida de SI, existen trabajos realizados con otras oleaginosas y leguminosas Varanda (2014) sustituyó harina de trigo por harina de castaña hasta un 30%, presentando una reducción en los valores de R y E; 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 conservando R y E; Ribotta *et al.* (2007) 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.

Se registró un incremento significativo de la resistencia máxima (Rm) y una disminución significativa 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 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.

En general podemos inferir que es la formulación F7 la que no presenta diferencia significativa ($p < 0,05$) para la mayoría de las pruebas amilográficas con respecto al control, las pruebas farinográficas y extensográficas parecen indicar el debilitamiento de la masa a medida que se incrementan los niveles de sustitución con torta de SI.

Tabla 4

Propiedades extensográficas de masas enriquecida con torta extruida de SI

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)
F1 (control)	1636±2,1 ^a	130±7,0 ^a	161±4,0 ^a	1637±0,5 ^a	1214±11,0 ^b	96±6,2 ^a	151±2,05 ^a	1303±0,5 ^b	1187±4,0 ^b	81±1,0 ^{bc}	117±6,0 ^b	1228±0,6 ^b
F2	706±1,3 ^d	112±3,1 ^b	115±2,2 ^c	781±0,07 ^c	1117±2,6 ^c	84±3,3 ^b	117±4,7 ^c	1121±0,3 ^c	1141±2,3 ^c	82±8,5 ^{bc}	113±3,0 ^b	1143±0,3 ^c
F4	650±2,4 ^f	96±5,2 ^c	88±1,0 ^d	668±0,4 ^d	1022±3,5 ^d	87±3,6 ^b	112±3,0 ^d	1021±1,0 ^d	1093±4,0 ^d	84±9,4 ^b	113±2,9 ^b	1093±1,3 ^d
F5	662±2,16 ^e	91±8,1 ^d	86±1,8 ^d	667±0,5 ^d	995±2,4 ^e	85±5,4 ^b	107±5,1 ^e	1002±0,6 ^e	880±2,5 ^e	80±8,6 ^c	87±2,6 ^c	888±0,5 ^f
F6	774±5,1 ^b	86±2,8 ^e	90±2,2 ^d	776±0,2 ^c	872±2,2 ^f	73±2,8 ^c	73±4,4 ^f	895±0,4 ^f	860±2,0 ^f	91±7,9 ^a	71±3,7 ^d	896±0,1 ^e
F7	720±3,3 ^c	133±1,5 ^a	145±3,1 ^b	864±0,8 ^b	1274±1,1 ^a	93±3,4 ^a	144±3,9 ^b	1432±0,03 ^a	1266±2,7 ^a	90±5,3 ^a	126±4,2 ^a	1354±1,1 ^a

R=Resistencia a la Extensión (UB), E= Extensibilidad (mm), M=Máximo (BU). Los datos que no comparten una misma letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$), F3: No detectado. (n = 3).

3.4 Evaluación de la textura y color del pan La **Figura 1** evidencia un aumento considerable de textura en todas las formulaciones excepto para F7 (61,39 mJ) dado que presenta mayor similitud a la textura del pan control (56,43 mJ) a un nivel de significancia de $p < 0,05$, la cual puede ser atribuida como la formulación más adecuada, sin embargo, estos resultados evidencian que la adición de SI es absolutamente responsable del aumento de la dureza de los panes. **Demikersen (2010)** también encontró un aumento en la dureza de la miga cuando añadió harina de castaña en formulaciones de pan sin gluten.

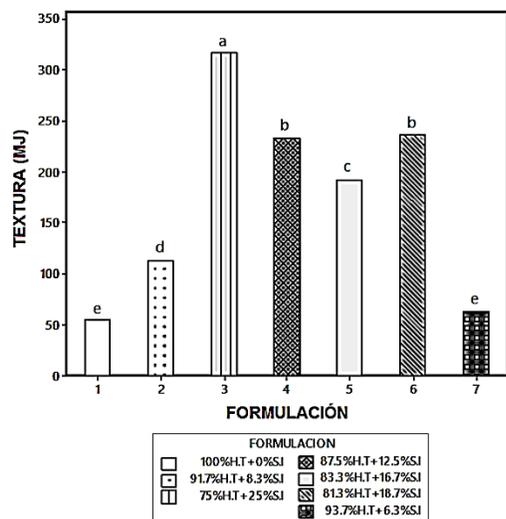


Figura 1. Textura de pan de molde con sustitución torta extruida de SI.

El análisis de color encontró diferencias significativas ($p < 0,05$) para L^* en la miga del pan, indicando que la pigmentación amarilla oscura de la torta desgrasada extruida de SI interfiere en el color de los panes, en la **Figura 2** se observa la reducción de los valores de L^* y mayor tendencia al rojo, 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.

Los resultados de cromaticidad presentan un incremento gradual en la miga de los panes evaluados, con valores de C^* entre 89,81 y 81,34. Los valores de ángulo de tonalidad (h°) para la miga, los cuales estuvieron en el rango de $81,34 \pm 1,0$ a $89,79 \pm 0,4$, 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**). 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 SI evaluadas. 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. Normalmente, el color de la corteza oscila entre marrón intenso dorado en la cima y marrón ligeramente dorado en los laterales (**Julianti et al., 2015**).

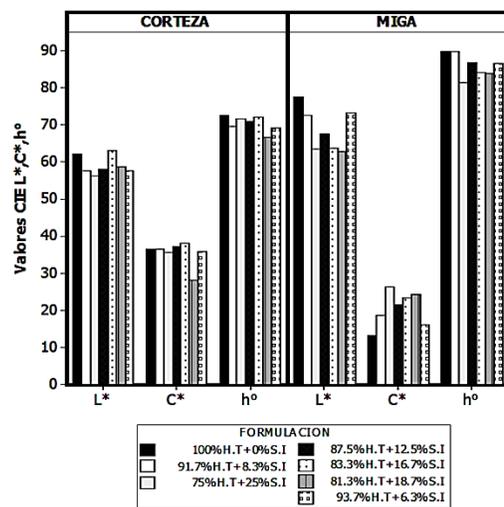


Figura 2. Análisis de color de la miga y corteza de los panes enriquecidos con torta extruida de SI.

3.5 Evaluación del perfil lipídico

Se cuantificó el perfil de ácidos grasos de la torta extruida de SI donde se denota la supremacía de los omegas $\omega-3$ y $\omega-6$ (**Rodríguez et al., 2015**), asimismo del pan de mayor aceptabilidad (F7), el cual presenta un 47,05% de saturados, 36,12% de monoinsaturados y 16,83% de poliinsaturados este último constituido de ácido linoleico (15,14%) y ácido linolénico (1,69%) considerados como $\omega-6$ y $\omega-3$ respectivamente. La **Figura 6** muestra al ácido palmítico como el más abundante con un contenido del 39,99%, este ácido graso desde el punto de vista tecnológico es favorable para la plasticidad y estabilidad en productos finales (**Escobar et al., 2012**). El tratamiento térmico no tuvo efecto negativo sobre la permanencia de ácido palmítico y oleico sin embargo causó la disminución del contenido de $\omega-6$ y $\omega-3$ en un 56,43% y 96,67% respectivamente, esto podría ser atribuido a la temperatura del horneado en la elaboración de pan

producto de la oxidación de los ácidos grasos y más aún si se tratan de ácidos grasos insaturados (Villanueva et al., 2015). Los resultados obtenidos para el contenido de ω -3 lo ubican dentro del rango adecuado de ingesta de ácidos grasos esenciales recomendados por la FAO (2008), en el que sugiere una ingesta entre 0,5% – 2% de ω -3 y 2,5% – 9% de ω -6, este último supera las recomendaciones de la FAO (2008).

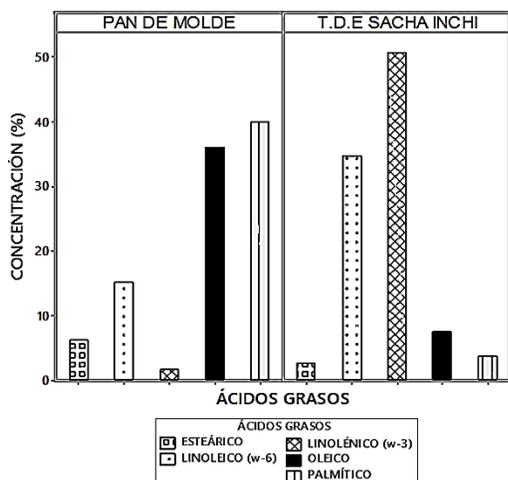


Figura 3. Perfil lipídico de torta extruida de SI y pan de molde (F7) (n=2).

3.6 Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial revelaron que no existe diferencia significativa entre el control y F7 ($p < 0,05$) para los atributos de color, apariencia, aroma, sabor y textura (Figura 4), esto es un requisito indispensable para el desarrollo de un nuevo producto especialmente en aquellos que contengan características funcionales, que la adición de un agente no influya sobre las características sensoriales del producto final (Martí et al., 2016; Ficco et al., 2018).

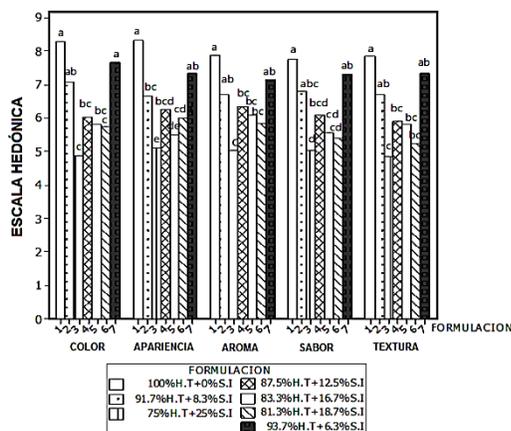


Figura 4. Gráfico de barras para los atributos de color, apariencia, aroma, sabor y textura del pan enriquecido con torta extruida de SI.

Otra formulación que presenta mucha similitud de atributos con el control es la F2 excepto para la apariencia en la que se evidencia similitud con las demás formulaciones. La Figura 5 muestra claramente estas diferencias percibidas por los panelistas.

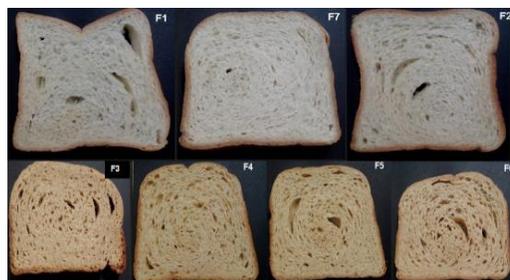


Figura 5. Panes de molde sustituidos parcialmente con torta extruida de SI.

4. Conclusión

La sustitución con 6,3 % de torta extruida de SI, correspondiente a la formulación F7, alcanzó la mayor aceptabilidad en relación a los atributos de apariencia, sabor, color, olor y textura con respecto al pan control ($p < 0,05$). Las propiedades reológicas de amilografía, farinografía y extensografía, mostraron en general que cuando la torta desgrasada extruida de SI es adicionada a la harina de trigo, tiende a debilitarla, actuando como diluyente del gluten. Se verificó que las diferentes sustituciones presentan resultados satisfactorios en relación al aspecto nutricional. El análisis de color para la miga mostró que los panes presentan oscurecimiento con respecto al pan control, cuya influencia se debe a la presencia del color del extruido de SI. Finalmente existe una retención positiva de ω -3 obteniéndose un pan de molde con posibles propiedades funcionales, por lo que se recomienda que futuras investigaciones profundicen en estudios como la capacidad antioxidante, contenido de polifenoles, aminoácidos y digestión in vivo o in vitro.

Referencias Bibliográficas

Acosta-Estrada, B.; Lazo-Velez, M.A.; Nava-Valdeza, Y.; Gutiérrez-Urbe, J.A.; Serna-Saldivar, S.O. 2014. Improvement of dietary fiber, ferulic acid and calcium contents in pan bread enriched with nejayote solids from white maize (Zea mays). J. Cereal Sci 60: 64-269.

Almeida, E.; Chang, Y.; Steel, C. 2013. Dietary fibre sources in frozen part-baked bread: Influence on technological quality. Lwt-Food Science and Technology 53: 262-270.

Borges, J.; Ascheri, J.; Ascheri, D.; Nascimento, R.; Freitas, A. 2003. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-

- cozido à base de farinha integral de quinua (*Chenopodium quinua*, Willd) e de farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) polido por extrusão termoplástica. Boletim CEPPA 21: 303-322.
- Camelo, C.; Audino, R.; Castello, G.; Carmo, M.; Ferreira, D. 2014. Aplicação das Farinhas de linhaça (~ *Linum usitatissimum* L.) e Maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. flavicarpa Deg.) no processamento de pães com Propriedades Funcionais. Revista Brasileira de Agrotecnologia 1: 2317-3114.
- Chirinos, R.; Pedreschi, R.; Domínguez, G.; Campos, D. 2015. Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. Food Chemistry 173: 1203-1206.
- Chirinos, R.; Zuloeta, G.; Pedreschi, R.; Mignolet, E.; Larondelle, Y.; Campos, D. 2013. Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopheroles, phytosteroles, phenolic compounds and antioxidant capacity. Food Chemistry 141: 1732-1739.
- Colantuono, A.; Ferracane, R.; Vitaglione, P. 2018. Potential bioaccessibility and functionality of polyphenols and cynaropicrin from breads enriched with artichoke stem. Food Chemistry 245: 838-844.
- Da Silva, J.; Ribeiro, M.; De Paula, D.; Ramos, D.; Paes, J. 2011. Caracterização Físico-Química e Sensorial de pão de sal enriquecido com farinha integral de linhaça. B. CEPPA 29: 83-93.
- Da Silva, J.; Gonçalves, J.; De Sousa e Silva, N.; Ribeiro, M.; De Paula, C. 2013. Caracterização físico-química e sensorial de pão de forma contendo farinha mista de trigo e quinua. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais 15: 305-319.
- 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.
- Enyinnaya, C.; Chukwuemeka, L.; Boniface, O.; Abdullahi, S.; Oni, S.; Maina, C.; Omotoke, S. 2016. Effect of acha and bambara nut sourdough flour addition on the quality of bread. LWT Food Sci. Technol 70: 223-228.
- El-Dash, A.; Camargo, O. 1982. Fundamentos da Tecnologia de panificação. Comercio e Tecnologia. Sao Paulo, Brasil. 400 pp.
- El-Adawy, T. 1995. Effect of sesame seed protein supplementation on the nutritional, physical, chemical and sensory properties of wheat flour bread. Plants Foods Hum Nutr 48: 311-26.
- Escobar, G.; Daniela, V.; Curutchet, A.; Zirbesegger, H.; Márquez-Romero, R. 2012. Estudio de la composición físico-química de harina de semillas de zapallo como ingrediente alimentario. Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay 7: 25-30.
- FAO. 2008. Alimentación y nutrición. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. Consulta de expertos. Ginebra. 175 pp.
- Ficco, D. B. M.; Borrelli G.M.; Giovanniello, V.; Platani, C.; De Vita, P. 2018. Production of anthocyanin-enriched flours of durum and soft pigmented wheats by air-classification, as a potential ingredient for functional bread. Journal of Cereal Science 79: 118-126.
- González, O.; Pacheco-Delahaye, E. 2006. Propiedades físicas y reológicas de la harina de banana verde (*Musa-AAA*) en la elaboración de geles de piña (*Ananas-cromosus*-L-Merr.). Rev. Fac. Agron 32: 27-40.
- 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.
- Julianti, E.; Rusmarilin, H.; Yusraini, E. 2015. Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 16: 171-177.
- Justo, M.; Castro, A.; Aguijar, 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.
- Lazo-Velez, A.; Chuck-Hernandez, C.; Serna-Saldívar, O. 2015. Evaluation of the functionality of five different soybean proteins in yeast-leavened pan breads. Journal of Cereal Science 64: 63-69.
- Leyva-Corral, J.; Quintero-Ramos, A.; Camacho-Davila, A.; Zazueta-Morales, J.; Aguilar-Palazuelos, E.; Ruiz-Gutierrez, M.; Melendez-Pizarro, C.; Ruiz-Anchondo, J. 2016. Polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace in an extruded cereal. LWT - Food Science and Technology 65: 228-236.
- Magaña-Barajas, E.; Ramirez-Wong, B.; Platt-Lucero, L.; López-Ahumada, G.; Torres, P.; Sanchez, I.; Machado D. 2009. Viscoelastic characteristics of dough from soft wheat cultivars. Tecnologia, Ciencia y Educación 24: 12-22.
- Mahmoodi, M.; Mashayekh, M.; Entezari, M. 2014. Fortification of wheat bread with 3 e 7 % defatted soy flour improves formulation, organoleptic characteristics, and rat growth rate. Int. Preventive Medicine 5: 37-45.
- Marti, A.; Marengo, M.; Bonomi, F.; Casiraghi, M.C.; Franzetti, L.; Pagani, M.A.; Iametti, S. 2016. Molecular features of fermented teff flour relate to its suitability for the production of enriched gluten-free bread. LWT - Food Science and Technology 78: 296-302.
- Mellado, M.; Haros, M. 2016. Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz. Braz. J. Food Technol 19: 1-9.
- Mis, A.; Dziki, D. 2013. Extensograph curve profile model used for characterising the impact of dietary fibre on wheat dough. Journal of Cereal Science 57: 471-479.
- 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). Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Perú. 121 pp.
- Oliveira, T.; Ribeiro, P.; Da Silva, J. 2007. Elaboração De Pão De Sal Utilizando Farinha Mista De Trigo E Linhaya. Alimentayao e Nutriyao, Araraquara 18: 141-150.
- Pascual, G.; Mejia, M. 2000. Extracción y caracterización de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Anales Científicos UNALM 42: 146-160.
- Ribotta, P.; Colombo, A.; León, A.; Añón, M. 2007. Effects of soy protein on physical and rheological properties of wheat starch. Starch/Stärke 59: 614-623.
- Rodríguez, G.; Villanueva, E.; Glorio, P.; Baquerizo, M. 2015. Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Scientia Agropecuaria 6: 155-163.
- Stone, H.; Sidel, L. 1993. Sensory Evaluation Practices. Academic Pr; Edición: 2nd. Lincoln, NE, USA. 338 pp.
- Shin, D.; Kim, W.; Kim, Y. 2013. Physicochemical and sensory properties of soy bread made with germinated, steamed, and roasted soy flour. Food Chem 141: 517-523.
- Sivam, A.; Waterhouse, D.; Quek, S.; Perera, C. 2010. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: a review. Journal of Food Science 75: 163-174.
- Varanda, C. 2014. Obtenção e caracterização da farinha de castanha (*Castanea* spp.) e seu potencial de aplicação em produtos de panificação. Tesis de maestria, Universidad Estadual de Campinas, Sao Paulo. Brasil. 151 pp.

Villanueva, E.; Rodríguez, G.; Aguirre, E.; Castro, V.
2017. Influence of antioxidants on oxidative stability

of the oil Chia (*Salvia hispanica* L.) by rancimat.
Scientia Agropecuaria 8: 19-27.