

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ELABORACIÓN DE PANES CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO CON FUENTES ALTERNATIVAS DE PROTEÍNAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE
LA SEGURIDAD Y CALIDAD ALIMENTARIA

ALUMNA: Vanessa Margarita Freire Factos

TUTORA ACADÉMICA: Purificación García Segovia
SEGUNDO TUTOR: Javier Martínez Monzó
TERCERA TUTORA: M^a Jesús Pagán Moreno

Curso Académico: 2018-2019

VALENCIA, 25 de enero 2019

ELABORACIÓN DE PANES CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO CON FUENTES ALTERNATIVAS DE PROTEÍNAS

Vanessa Margarita Freire Factos¹; Purificación García Segovia²; Javier Martínez Monzó²; M^aJesús Pagán Moreno².

RESUMEN

El 1 de enero del 2018 la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) aprobó el uso de insectos para ser utilizados como alimento en la UE. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el uso de fuentes alternativas como ingredientes en la formulación de pan. En la formulación de la masa, la harina de trigo se sustituyó por un 5 y 10% de proteína de guisante o proteína de insectos (*Alphitobius diaperinus* y *Tenebrio molitor*). Se evaluó la textura, color de la corteza y miga, aw, proteínas, humedad, reología y análisis de imagen (porosidad). Los panes con sustitución de proteína de guisante son más duros que los demás panes, el pan control presentó mayor elasticidad. La corteza del pan control y los panes con sustitución de del 5% de proteínas de insectos y guisante tienen colores apagados y tonalidad amarilla. La miga de pan control y los panes con sustitución de proteína de guisante tienen una tendencia hacia los colores claros y los panes con sustitución de proteína de insectos a los colores grisáceos y apagados. Los panes presentaron una aw alta. A medida que se añadió la harina de insecto la proteína del pan aumentó. La humedad de las harinas estuvo entre 12,5 a 13,5%. La Tenacidad y Fuerza de la harina (10% guisante) fue mayor que los demás panes. La Extensibilidad y Punto de Rompimiento fueron mayores en la harina control que en el resto de panes. La sustitución de proteína produce panes menos porosos.

PALABRAS CLAVE: Proteína de guisante, proteína de insectos, calidad el pan, parámetros fisicoquímicos.

RESUM

L'1 de gener del 2018 l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA) va aprovar l'ús d'insectes per a ser utilitzats com a aliment en la UE. L'objectiu del present treball va ser estudiar l'ús de fonts alternatives com a ingredients en la formulació de pa. En la formulació de la massa, la farina de blat es va substituir per un 5 i 10% de proteïna de pèsol o proteïna d'insectes (*Alphitobius diaperinus* i *Tenebrio molitor*). Es va avaluar la textura, color de la corfa i molla, aw, proteïnes, humitat, reologia i anàlisi d'imatge (porositat). Els pans amb substitució de proteïna de pèsol van resultar més durs que els

¹ Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

² Grupo de Investigación CUINA. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n 46022. Valencia. España

altres pans, el pa control va presentar major elasticitat. La corfa del pa control i els pans amb substitució de del 5% de proteïnes d'insectes i pèsol tenen colors apagats i tonalitat groga. La molla del pa control i els pans amb substitució de proteïna de pèsol presenten una tendència cap als colors clars i els pans amb substitució de proteïna d'insectes als colors grisáceos i apagats. Els pans van presentar una aw alta. A mesura que es va afegir la farina d'insecte la proteïna del pa va augmentar. La humitat de les farines va estar entre 12,5 a 13,5%. La Tenacitat i Força de la farina amb un 10% pèsol, va ser major que els altres pans. Extensibilitat i Punt de Trencament van ser majors en la farina control que en la resta de pans. La substitució de proteïna produeix pans menys porosos.

PARAULES CLAU: Proteïna de pèsol, proteïna d'insectes, qualitat el pa, paràmetres fisicoquímics.

ABSTRACT

On January 1, 2018, the European Food Safety Authority (EFSA) approved the use of insects in food in the EU. The objective of the present work was to study the use of alternative sources of proteins as ingredients in the formulation of bread. In the formulation of the bread dough, wheat flour was replaced by 5 and 10% pea protein or insect protein (*Alphitobius diaperinus* and *Tenebrio molitor*). The texture, colour of the crust and the crumb, aw, proteins, humidity, rheology and image analysis (porosity) were evaluated. The breads with pea protein substitution are harder than others, the bread control showed greater elasticity. The crust of the control bread and the breads with substitution of 5% of proteins of insects and pea have dull colours and yellow tonality. The bread crumb control and the breads with substitution of pea protein have a tendency towards the light colours and the breads with protein substitution of insects to the grey and dull colours. All breads presented a high aw. As the insect flour was added, the bread protein increased. The moisture of the flours was between 12,5 to 13,5%. The Tenacity and Strength of the flour with 10% pea substitution was higher than the other breads. Extensibility and Break Point were higher in the control flour than in the rest of the breads. Protein substitution produces less porous breads.

KEYWORDS: Pea protein, insect protein, bread quality, physicochemical parameters.

1. INTRODUCCIÓN

El pan es considerado como uno de los alimentos más importantes y consumidos en todo el mundo. Se trata de un producto horneado, resultado de la mezcla de harina de trigo (o de varias harinas como maíz, centeno, soja, cebada y arroz), sal, agua y con agentes de fermentación (Osimani et al., 2018).

El pan se prepara casi exclusivamente a partir de trigo (*Triticum aestivum* L.) debido a las propiedades únicas de sus proteínas. La harina de trigo puede formar una masa cohesiva y viscoelástica con propiedades de retención de gases superiores a las de la masa de otros cereales. Hoy en día, existe una creciente demanda para consumir pan con cereales distintos del trigo. Debido a que los panes tienen un mejor perfil nutricional (niveles de fibra dietética, aminoácidos esenciales, minerales) que los del trigo. Hoy en día la única terapia disponible para la enfermedad celiaca y otros trastornos relacionados con el gluten es evitar el gluten durante toda la vida, esto se refiere a evitar las proteínas del trigo, centeno y cebada (Pauly & Delcour, 2018).

En todo el mundo la base de la pirámide de los alimentos está formada por hidratos de carbono, por esta razón el pan tiene un alto consumo porque es alto en esta fuente de energía y es un alimento de bajo costo, puede ser consumido por todas las clases sociales, desde un complemento alimenticio, como es en familias con mayor poder adquisitivo o como una de las pocas fuentes de alimentos, como se ve en familias de bajos ingresos (Oliveira, et al., 2017).

El trigo comparado con otros cereales tiene una gran cantidad de gluten el cual representa un componente esencial para la elaboración de pan.

Los productos de cereales se consideran en la dieta humana una fuente importante de carbohidratos y debido a la demanda actual de alimentos saludables se ha visto la necesidad de mejorar la calidad del pan aportando beneficios para la salud (Sheikholeslami, et al., 2018).

Las legumbres por sus perfiles nutricionales son una buena alternativa para incorporar al pan debido a que son ricas en proteínas, fibra, vitaminas y minerales (Wandersleben et al., 2018).

Las proteínas del guisante son una fuente de lisina, componentes biológicamente activos como lectinas dietéticas con propiedades que promueven la salud o péptidos bioactivos anti-fúngicos (Laguna et al., 2017).

Los aislados de proteína de guisante se han utilizado para mejorar la calidad nutricional de los productos alimenticios debido a sus propiedades de solubilidad, gelificación, emulsificación y espumación. La sustitución de proteínas animales por fuentes de proteína alternativas como las de guisante, se propone como suministro de alimentos más sostenibles en el futuro (Sheikholeslami et al., 2018).

Debido al aumento de la población y la demanda de fuentes de proteínas en todo el mundo, los insectos constituyen una alternativa económica de consumo, recientemente ha ganado popularidad en los países occidentales.

En Europa se considera que en alimentos y piensos la proteína convencional puede ser remplazada por proteína de insectos (González et al., 2018).

El alto valor nutricional que aporta la incorporación de insectos comestibles en la industria alimentaria ha estado atrayendo la atención de los investigadores debido a que los insectos son muy ricos en proteínas y aminoácidos esenciales. Los insectos son consumidos por 2.500 millones de personas en todo el mundo. En África, Asia y América comer insectos es una práctica habitual mientras que en Europa occidental existe todavía una fuerte barrera cultural para generalizar su consumo (Osimani et al., 2018).

Con fecha 1 de enero de 2018 la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) propuso una lista de insectos para ser utilizados como pienso y alimento en la UE;- *Musca domestica*, *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, *Zophobas atratus*, *Alphitobius diaperino*, *Galleria mellonella*, *Achroia grisella*, *Bombyx mori*, *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Locusta migratoria migratorioides*, y *Schistocerca americana* (Comité Científico EFSA, 2015).

Los insectos contienen entre 35-61% de proteínas, 15-40% grasas y 3-10% minerales. En la actualidad muchos productos alimentarios se están enriqueciendo con proteínas de cereales como la avena, centeno o legumbres; los insectos son más ricos en proteínas que los frijoles, lentejas o la soya y suponen un nuevo reto para la innovación en la industria alimentaria (Osimani et al., 2018).

El objetivo planteado para este trabajo es estudiar el potencial uso de proteínas de fuentes alternativas como ingredientes en la formulación de pan. Para ello se evalúa el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por un 5 y 10 % de proteína de guisante, proteína de gusano búfalo (*Alphitobius laevigatus*) y gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) en el comportamiento reológico y las características fisicoquímicas del pan. Se ha medido el color en miga y corteza, textura mediante doble compresión, determinación de los parámetros alveográficos (tenacidad, extensibilidad, elasticidad y fuerza panadera). También se ha determinado mediante análisis de imagen, la porosidad de las muestras y se ha cuantificado la cantidad final de proteínas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materias primas

En la elaboración de los panes se utilizaron harina de fuerza de trigo (Gallo SAU El Carpio Córdoba), proteína de guisante NUTRAL-YS S85F (Roquette, Benifaio, Valencia) y harinas de insectos (*Alphitobius diaperinus* y *Tenebrio molitor*) que fueron obtenidas de Krecia Ento-Food (Ermelo, Holanda).

La proteína de la marca Roquette Nutralys S85F de guisante es un polvo blanco cremoso, es una proteína vegetal que tiene calidad nutricional y alta digestibilidad. La línea de proteínas de guisante Nutralys S, se utiliza principalmente para el enriquecimiento de proteínas.

Las proteínas Nutralys se aplican en productos para hornear, cereales, productos salados, productos os, productos de confitería, productos de fermentación etc.

En la elaboración de las masas se utilizaron levadura fresca (*Saccharomyces cerevisiae*), sal común, agua potable y ácido ascórbico. En el siguiente diagrama de flujo (Figura 1) se describe el proceso de elaboración de pan.

2.2. Proceso de panificación

Se partió de una formulación en base a harina (300g): harina de trigo 100%; sal 1.6%; levadura panaria comercial 5%; agua 60% y ácido ascórbico 0.01% que fue con la que se realizó el pan control es procedimiento se realizó según el protocolo de Iglesias (2012).

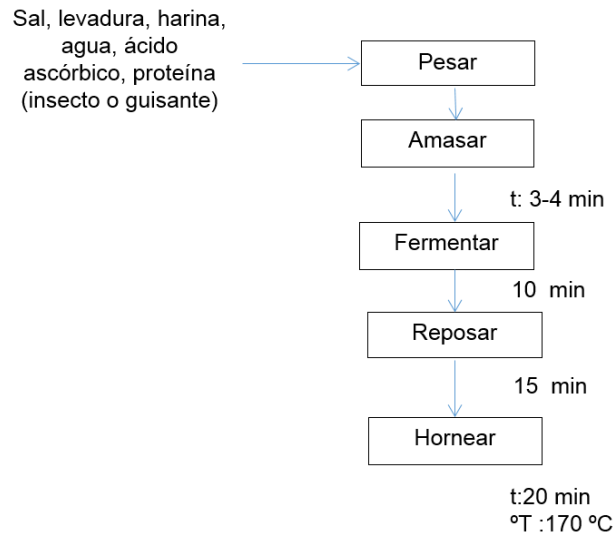


FIGURA 1. Diagrama de flujo para la elaboración de pan.

Se realizaron 7 formulaciones diferentes: pan control, pan con 5 y 10 % de proteína de guisante, pan con 5 y 10% proteína de gusano búfalo (*Alphitobius diaperinus*) y pan con 5 y 10% gusano de la harina (*Tenebrio molitor*).

La elaboración de la masa se realizó con 300g de harina, 180g de agua, 15g de levadura, 4,8g de sal, 0,03g de ácido ascórbico. Los ingredientes se mezclaron en una amasadora Kenwood Chef (Kenwood Limited, UK) hasta la formación de la masa. Se procedió a fermentar durante 10 min a 40°C, tras lo que la masa se dividió en 4 piezas de aproximadamente 70g que se dejaron en reposo durante 15 minutos a temperatura ambiente. Las piezas se hornearon en horno eléctrico Convothem serie mini (Manitowoc Fodservice, Eglfing, Germany) durante 20 minutos a 170°C. Finalmente los panes se enfriaron a temperatura ambiente durante una hora para su posterior análisis.

2.3. Análisis de textura

Para el perfil de textura (TPA) se utilizó un texturómetro TA-XT plus (Stable Micro Systems, Reino Unido), con una plataforma de compresión P/75. Los ensayos se realizaron por triplicado.

Los parámetros evaluados fueron: dureza, adhesividad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad. Para el ensayo se fijaron los siguientes parámetros: velocidad de ensayo 1,70 mm/s y deformación 40%.

2.4. Caracterización del color

El análisis de color de la corteza y de la miga de pan se determinó con un colorímetro (CR-400, Konica Minolta, Japón). El instrumento fue calibrado utilizando el iluminante D65 y un observador de 10°. Los parámetros evaluados pertenecen al espacio cromático CIELab, el cual es un sistema uniforme en el que se definen tres coordenadas: L*, luminosidad (varía de 0 a 100); a*, que representa la variación de rojo a verde y b*, que representa la variación de amarillo a azul. A partir de los valores de L*, a* y b*, se calcularon las coordenadas psicométricas tono (h*ab) y se estimaron las diferencias de color (ΔE^*). El color de la corteza y la miga fue determinado al menos tres veces en tres puntos de tres piezas panarias elegidas al azar de cada ensayo de panificación.

2.5. Análisis de a_w

Para la determinación de la actividad de agua se utilizó un equipo AquaLab PRE (Decagon Services, Inc Pullman, WA, USA). Tras su acondicionamiento y calibración se llevó a cabo la medida de actividad de agua de las 7 formulaciones por triplicado.

2.6. Determinación de proteínas

Las proteínas se determinaron por el método Kjeldhal, sobre 1 gramo de muestra y se realizaron las tres fases de:

Digestión, con H₂SO₄ y H₂O₂, a 420°C, 2 horas.

Destilación ácido bórico, H₂O₂ y NaOH hasta obtener 150 ml de destilado.

Valoración: con ácido sulfúrico. Por último, se calculó el porcentaje de proteína de las muestras, siguiendo la ecuación 1.

$$\% \text{Prot} = \% \text{ Nitrógeno} * F \quad (\text{ecuación 1})$$

2.7. Humedad

La humedad se determinó mediante una balanza de infrarrojos, donde se colocan 4 gramos. La muestra se calienta a 130 °C a 7 minutos aproximadamente y se calcula el % humedad por diferencia.

2.8. Caracterización reológica de las masas

La determinación reológica se realizó con un Alveógrafo Chopín Technologies (Figura 2), en los laboratorios del IATA en el que se evaluaron los siete tipos de masas.

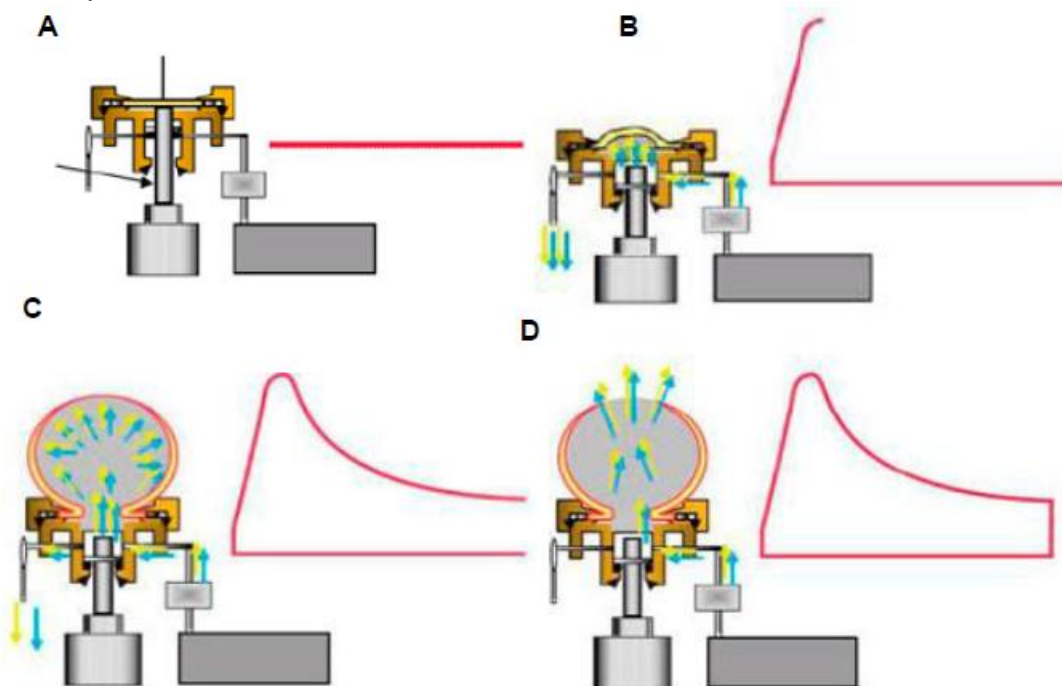


FIGURA 2. Alveógrafo de Chopin. *A: Posición de partida, B: La masa ofrece resistencia a la presión del aire, C La masa se deforma en una burbuja (extensibilidad), D: Rotura de la burbuja (Fin del ensayo). Fuente Revista Virtual Pro, 2011.

Se colocó la harina de trigo junto con la proteína de guisante y de insecto, posteriormente se formó la masa en la amasadora del aparato, se moldeó y se formó una lámina, se deja 20 minutos en reposo, se coloca la masa en una base y se sujeta por un anillo, el aire es forzado a través de un orificio que se encuentra en la base donde se colocó la masa finalmente se forma un alvéolo que se expande hasta que se revienta (Loja, 2013).

El alveógrafo Chopin nos permite determinar la tenacidad (P), extensibilidad (L), el equilibrio de harina que indican la relación de tenacidad y extensibilidad (P/L), el punto de rompimiento (G), la fuerza de la harina (W) (Indrani, et al., 2007).

2.9. Análisis de imagen

Para medir la porosidad se realizaron cortes transversales de 0.5 cm de cada muestra de pan y se escanearon con un escáner Epson SX420 (Seiko Epson Corporation, Japan). Para realizar el análisis de imagen se utilizó el software Image J (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>).

2.10. Diseño experimental y análisis estadístico

Los resultados se analizaron estadísticamente por medio del análisis de varianza simple (ANOVA), en el programa Statgraphics Centurion XVII v204

64 bits, mediante la prueba de diferencia significativa mínima (LSD) de Fisher a un nivel de significación del 5 % ($p < 0.05$).

Adicionalmente en la Tabla 1 se muestra la siguiente nomenclatura que se utilizó para describir las siete muestras de pan con su composición respectiva:

TABLA 1. Abreviatura y nomenclatura de la composición de los panes.

CM	Control Miga	CC	Control Corteza	HC	Harina Control
G5M	Guisante 5% Miga	G5C	Guisante 5% Corteza	H5G	Harina 5% Guisante
G10M	Guisante 10% Miga	G10C	Guisante 10% Corteza	H10G	Harina 10% Guisante
T5M	<i>Tenebrio molitor</i> 5% Miga	T5C	<i>Tenebrio molitor</i> 5% Corteza	H5T	Harina 5% <i>Tenebrio molitor</i>
T10M	<i>Tenebrio molitor</i> 10% Miga	T10C	<i>Tenebrio molitor</i> 5% Corteza	H10T	Harina 10% <i>Tenebrio molitor</i>
A5M	<i>Alphitobius diaperinus</i> 5% Miga	A5C	<i>Alphitobius diaperinus</i> 5% Corteza	H5A	Harina 5% <i>Alphitobius diaperinus</i>
A10M	<i>Alphitobius diaperinus</i> 10% Miga	A10C	<i>Alphitobius diaperinus</i> 10% Corteza	H10A	Harina 10% <i>Alphitobius diaperinus</i>

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de Textura

La Tabla 2 muestra los resultados para la textura de los diferentes panes evaluados. Como puede observarse los panes con sustitución del 5 y 10 % de proteína de guisante son los que presentan mayor dureza con respecto a los demás.

TABLA 2. Valores medios de los atributos de textura de las 7 muestras de pan

Muestra	Dureza (g)	Adhesividad (g*s)	Cohesividad	Elasticidad (%)	Masticabilidad
CM	1360±237 ^b	-0,09±0,24 ^b	0,88±0,01 ^c	97,5±1,4 ^c	1166 ± 207 ^b
G5M	2093±492 ^c	-0,76±1,40 ^{ab}	0,84±0,03 ^{bc}	96,2±1,6 ^b	1700 ±398 ^c
G10M	3441±789 ^{ab}	-0,99±1,02 ^{ab}	0,80±0,02 ^a	95,3±1,2 ^{ab}	2617±543 ^d
T5M	1108±102 ^{ab}	-1,47±1,79 ^a	0,82±0,11 ^{ab}	96,3±2,2 ^{bc}	879±160 ^a

T10M	12167±96 ^a	-1,60±2,71 ^{ab}	0,84±0,01 ^{ab}	96,4±1,9 ^{bc}	747±124 ^a
A5M	927±154 ^{ab}	-1,45±2,59 ^{ab}	0,84±0,01 ^{ab}	96,4±1,9 ^{bc}	747±124 ^a
A10M	1037±130 ^{ab}	-1,48±1,47 ^{ab}	0,81±0,02 ^{ab}	94,4±1,5 ^a	789±99 ^a

La dureza, se define como la fuerza máxima durante el primer ciclo de compresión en un TPA y sería lo equivalente al primer mordisco. En este parámetro no existen diferencias significativas entre los panes con sustitución de 5 y 10 % de los dos tipos de insectos, sin embargo estos muestran diferencias significativas con los panes con sustitución del 5 y 10 % de harina de guisante, el pan control también muestra diferencias significativas con la sustitución de proteína de guisante.

La adhesividad es el trabajo requerido para sacar un material de la superficie; se mide en gramos por segundo (g*s) y la definición instrumental es el área negativa para la primera compresión. En este parámetro el CM muestra una mayor adhesividad que los demás panes, sin embargo no existen diferencias significativas con el pan control a excepción del T10M.

La cohesividad, se considera como la medida de la desintegración de un material por efecto mecánico. En este caso el pan control presentaba una cohesividad mayor en relación a los otros panes. No se observan diferencias significativas entre los panes con proteína de insecto al 5 y 10 % y con el pan con proteína de guisante al 10%.

La elasticidad se relaciona con la capacidad de recuperación de la estructura de la miga después de la primera compresión en un análisis de TPA. El pan control presentó una mayor elasticidad en comparación con los demás panes, existe diferencias significativas entre el pan control y el pan con proteína de guisante al 5 y 10% y con A10M.

La masticabilidad se entiende como la energía necesaria para masticar un alimento sólido. El pan con sustitución de 10% de proteína de guisante presenta mayor masticabilidad respecto a los demás panes, no existe diferencias significativas entre los panes elaborados con 5 y 10 % de proteína de insectos *T. Molitor* y *A.diaperinus*.

En el estudio de González et al. (2018), al añadir 5% de sustitución de proteína del insecto *T.Molitor* los valores de dureza, elasticidad, y masticabilidad, fueron menores comparados a los valores del presente estudio, mientras que para la cohesividad obtenían valores mayores. Hay que tener en cuenta que los parámetros texturales dependen tanto de los factores intrínsecos de las masas (ingredientes, humedad) como de factores de proceso (tiempo de amasado, tiempo y temperatura de cocción).

3.2. Caracterización de color

En la Tabla 3 se observa que para el parámetro de Luminosidad (L*), no existen diferencias significativas en la corteza de los panes con sustitución de proteína del 10% de los insectos *T.molitor* y *A.diaperinus*. Tampoco la hay entre estos y los panes con proteína de guisante al 5 y 10 %, entre los que sí existe diferencias significativas. En cuanto al croma C* no existe diferencias significativas entre la muestra CC y el T5C y T10C. El parámetro que indica la diferencia de color entre muestras, ΔE presentó valores superiores a 5 unidades lo que indica que estas diferencias de color son

evidentes por observación visual, a excepción de T5C que presentó un valor de 2,73 (Sanz, 2010).

TABLA 3. Valores medios de los atributos de color de la corteza de las 7 muestras de pan

Muestra	L*	a*	b*	h	C	ΔE
CC	74,62±2,16 ^c	6,41±2,06 ^{bc}	26,90±3,32 ^{bc}	76,88±2,19 ^{cde}	27,68±4,01 ^{bc}	-
G5C	70,08±51,91 ^b	9,74±0,76 ^d	30,93±0,73 ^d	72,54±0,98 ^b	32,43±0,89 ^d	6,92
G10C	66,22±2,85 ^a	12,20±1,02 ^e	32,27±1,23 ^d	69,33±1,01 ^a	34,50±1,47 ^d	11,52
T5C	73,52±2,49 ^c	5,22±1,39 ^{ab}	24,71±1,99 ^b	78,22±2,42 ^{de}	25,27±2,19 ^b	2,73
T10C	67,67±3,90 ^{ab}	6,36±1,112 ^b	26,18±1,82 ^{bc}	76,42±1,46 ^{cd}	26,95±2,02 ^{bc}	6,99
A5C	73,99±1,57 ^c	3,77±1,23 ^{bc}	20,42±2,26 ^a	79,20±4,55 ^e	20,82±1,99 ^a	7,02
A10C	67,73±1,10 ^{ab}	7,58±0,89 ^c	27,16±1,27 ^c	74,45±1,20 ^{bc}	28,20±1,43 ^c	6,99

En la Figura 3 se observa que los valores de los panes CC, T5C, A5C y G5C muestran mayor luminosidad L* debido a que tienen una menor sustitución de proteína de guisante y de insectos, los panes G10C T10C y A10C presentan más cercanía hacia un color apagado debido a que la sustitución de harina de guisante y de insectos es mayor.

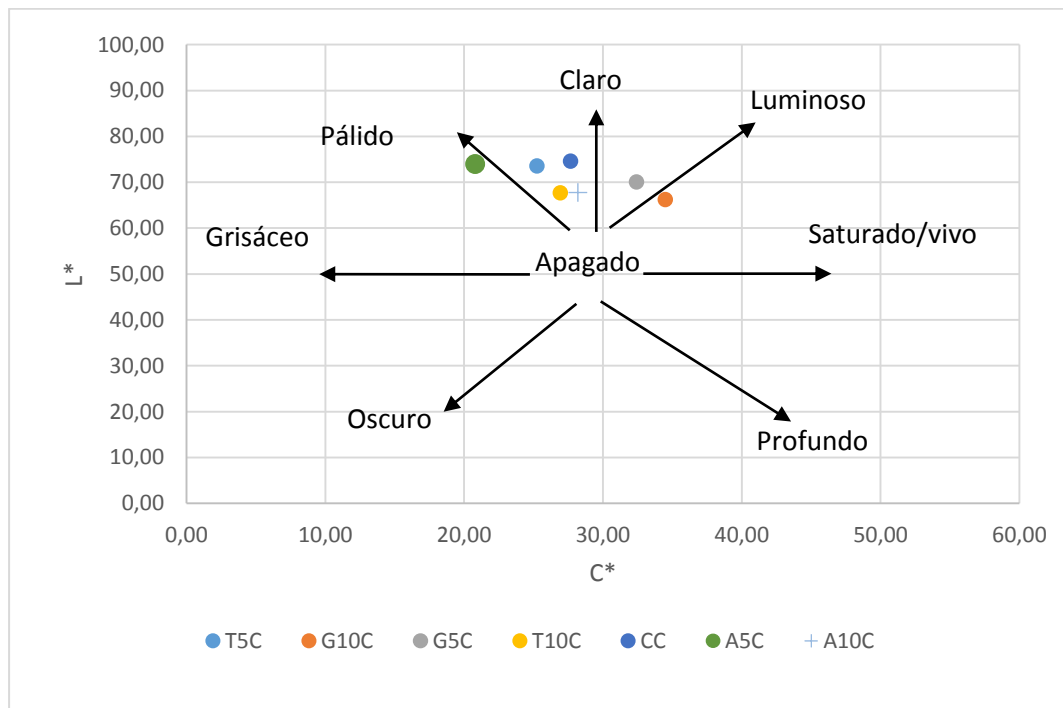


FIGURA 3. Representación de las coordenadas a* y b* en la corteza de las 7 muestras de pan.

En la Figura 4 se observa la representación de las coordenadas a* y b* en la que la corteza de los panes se encuentran en una tonalidad amarilla.

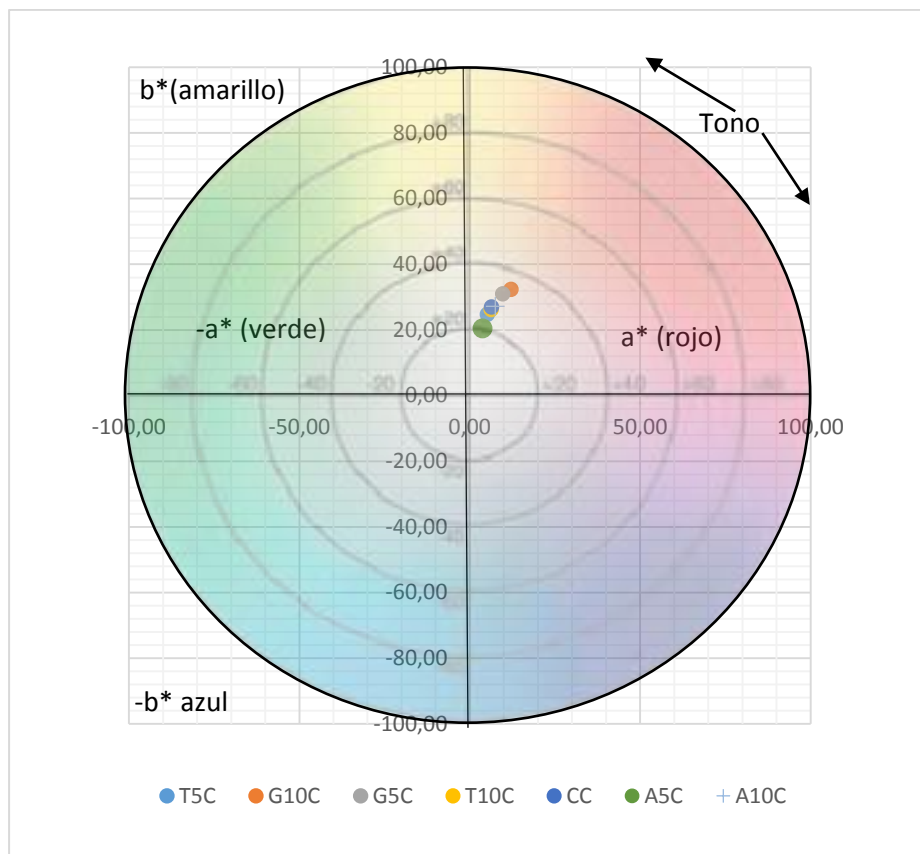


FIGURA 4. Representación de las coordenadas a^* y b^* en la corteza de las 7 muestras de pan.

TABLA 4. Valores medios de los atributos de color de la miga de las 7 muestras de pan

Muestra	L^*	a^*	b^*	h	C	ΔE
CM	70,67±2,18 ^{de}	1,23±0,24 ^a	16,74±0,44 ^a	85,81±0,65 ^e	16,78±0,49 ^a	-
G5M	68,95±1,70 ^{cd}	2,56±0,11 ^c	19,88±0,75 ^c	82,66±0,15 ^d	20,04±0,76 ^c	3,82
G10M	72,72±1,05 ^e	3,52±0,21 ^e	22,87±0,49 ^d	81,26±0,41 ^c	23,14±0,50 ^d	6,86
T5M	65,06±2,37 ^b	2,82±0,33 ^{cd}	18,45±0,59 ^b	81,31±1,07 ^c	18,67±0,58 ^b	6,08
T10M	62,18±3,58 ^a	3,85±0,59 ^e	19,22±1,67 ^{bc}	78,67±1,48 ^a	19,61±1,70 ^{bc}	9,23
A5M	67,21±2,16 ^{bc}	2±0,13 ^b	17,31±0,57 ^a	83,39±0,50 ^d	17,42±0,57 ^a	3,6
A10M	67,53±2,73 ^{bc}	2,97±0,14 ^d	16,96±0,61 ^a	80,05±0,61 ^b	17,22±0,60 ^a	3,6

En la Tabla 4 se observa que la muestra CM y G10M muestran una mayor luminosidad L^* en relación a las demás muestras, existe diferencias significativas entre la muestra CM, T5M, T10M, A5M y A10M debido a que el color de la harina de insecto es más oscura. El croma C de la muestra control presenta diferencias significativas con las muestras G5M, G10M, T5M y T10M. En el estudio de (González et al., 2018), al añadir 5% de sustitución de proteína del insecto *T. Molitor* los valores de L^* , a^* y b^* fueron menores comparados a los valores del presente estudio. El parámetro que indica la diferencia de color entre muestras, ΔE , presentó en G10M, T5M y

T10M valores superiores a 5 unidades lo que indica que estas diferencias de color son evidentes por observación visual a excepción de G5M, A5M y A10M presentaron valores inferiores a 5 unidades lo que indica que estas diferencias de color no son evidentes por observación visual (Sanz, 2010).

En la Figura 5 se observa que los panes CM y G10M tienen una tendencia más hacia los colores claros mientras que los panes T10M, T5M y T10M tienen una tendencia hacia los colores grisáceos y apagados.

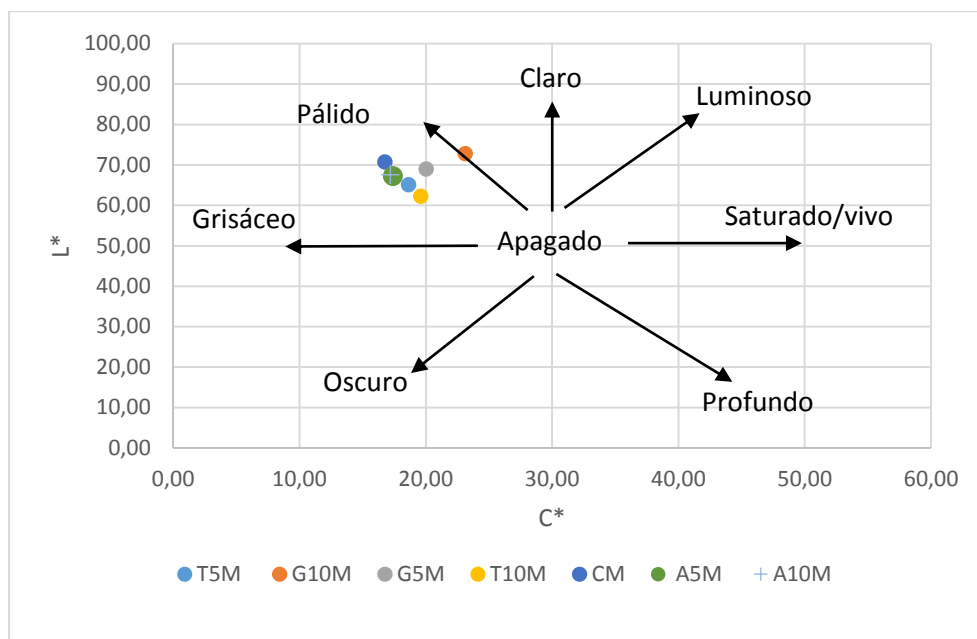


FIGURA 5. Representación de las coordenadas a^* y b^* en la miga de las 7 muestras de pan

En la Figura 6 se observa la representación de las coordenadas a^* y b^* Los panes presentan una coloración amarilla CM, G5M, G10M, T5M, T10M, A5M aunque A10M presenta más una tendencia hacia los verdes.

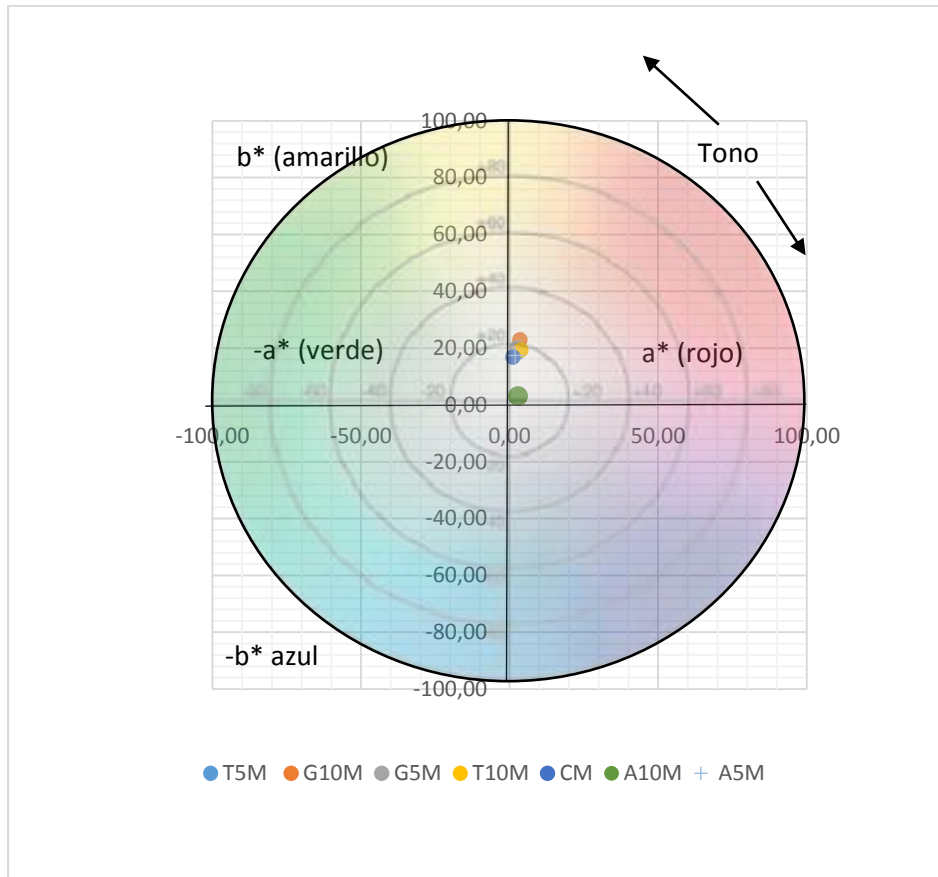


FIGURA 6. Representación de las coordenadas a^* y b^* en la miga de las 7 muestras de pan.

3.3. Análisis de a_w

La actividad de agua sirve como un indicador útil de la estabilidad microbiológica de los alimentos, también desempeña un papel importante en las propiedades sensoriales de los alimentos como el aroma, el sabor y la textura (Maneffa et al., 2017), los panes muestran valores altos de a_w (Tabla 5), esto se debe a las condiciones de horneado que aunque tengan un tiempo y una temperatura determinada puede variar y por lo tanto los panes pueden estar propensos a contaminación por mohos.

TABLA 5. Valores medios de la actividad de agua de las 7 muestras de pan

Muestra	a_w
CM	0,89±0,01 ^{ab}
G5M	0,90±0,02 ^{bc}
G10M	0,92±0,00 ^e
T5M	0,91±0,01 ^{cd}
T10M	0,91±0,00 ^{de}
A5M	0,88±0,00 ^a
A10M	0,89±0,00 ^b

3.4. Determinación de proteínas

En la determinación de proteínas se observa que a medida que se añade la harina de insecto, la proteína del pan aumenta, según (González et al., 2018) al reemplazar un 5% de la harina de *T.molitor* en pan obtuvo un 10% de proteína, en este trabajo se ha encontrado un incremento de 8% (Tabla 6).

TABLA 6. Valores medios de los análisis de proteína

Muestra	Proteína (g/100g)
CM	6,9±0,4 ^a
G5M	8±2 ^{ab}
G10M	7,7±0,5 ^{ab}
T5M	8,1±0,8 ^{ab}
T10M	8,2±1,3 ^{ab}
A5M	7,7±0,5 ^{ab}
A10M	9,1±1,2 ^b

3.5. Humedad

La humedad es un parámetro importante en el almacenamiento de harinas, niveles altos puede ocasionar el crecimiento de microorganismos y hongos y producción de micotoxinas el contenido de humedad de HC es de 12,5% (Tabla 7), se informaron resultados similares en harinas de centeno y trigo de Grecia (9,8% y 15,9% respectivamente) (Pauly & Delcour, 2018).

3.6. Caracterización reológica de las masas

La tenacidad P es la altura de la curva media en milímetros. Indica la resistencia que la masa opone a la rotura. Es mayor cuanto más consistencia posea la masa. En la Tabla 7 se muestra el valor de P (Tenacidad) de HC con un valor de 112 mmH₂O.

TABLA 7. Resultados de la caracterización reológica de las masas

	HC	HG5	HG10	HM5	HM10	HA5	HA10
P(mmH₂O)	112	193	245	96	104	117	126
L (mm)	42	25	24	37	33	34	31
G (10⁻⁴J)	14,4	11,1	10,9	13,5	12,8	12,9	12,4
W (J)	209	226	276	154	149	174	176
P/L	2,67	7,72	10,21	2,59	3,15	3,44	4,06
Humedad (%)	12,49	13,54	13,31	12,66	12,77	13,31	12,97

La extensibilidad L determina la habilidad de la masa a expandirse por el dióxido de carbono (CO₂) producido por las levaduras durante la fermentación. Una extensibilidad excesivamente alta resulta en una masa débil y floja la cual colapsa durante la fermentación o durante la cocción en el horno, es una medida de la capacidad de la masa de formar un pan esponjoso. Una muy baja resistencia a la extensión resulta en una baja retención del dióxido de carbono (CO₂) y un bajo volumen de pan, mientras que una muy alta resistencia a la extensión también resulta en un bajo volumen de pan porque la masa dura no es capaz de alcanzar una óptima altura durante la fermentación. El valor de L de HC es 42mm.

El punto de rompimiento G, determina la capacidad de hinchamiento de la masa, en el presente estudio fue de 14,4 (10⁻⁴J).

La Fuerza de la harina W representa el trabajo de deformación de la masa al ser ensayada en el alveógrafo. En el estudio fue de 209 J.

El valor de P/L Equilibrio de la harina, es un valor que diferencia y caracteriza a las harinas, refleja para qué tipo de trabajo panadero es adecuada cada una. Valores P/L > 1 son propios de harinas para masa dura o semidura. Valores P/L <1 deben poseerlos harina para masa semiblanda o blanda. El valor de P/L del estudio es de 4,67. Presentaron resultados similares en Pérez & García (2013).

3.7. Análisis de imagen

En la tabla 8 se observa que la sustitución de proteína produce panes menos porosos, esto se debe a que al tener una sustitución de otro tipo de proteínas en lugar del gluten hace que tenga menos poros, que sean más duros y menos elásticos comparados con la muestra control, no existe diferencias significativas entre los panes con un 10% de sustitución con insectos y un 5% de guisante con la muestra control, y las mayores diferencias se dan cuando se sustituye el 10% de proteína de guisante.

TABLA 8. Resultados de la caracterización reológica de las masas

Muestra	% Porosidad
CM	9,1±1,9 ^c
G5M	7,7±4,5 ^{bc}
G10M	5,1 ±0,9 ^a
T5M	7,5±1,7 ^{bc}
T10M	7,2±2,1 ^{bc}
A5M	6,6±1,8 ^{ab}
A10M	7,2±1,5 ^{bc}

En la Figura 7 se muestran las imágenes de las variaciones de color y porosidad en las muestras de las siete formulaciones de pan.

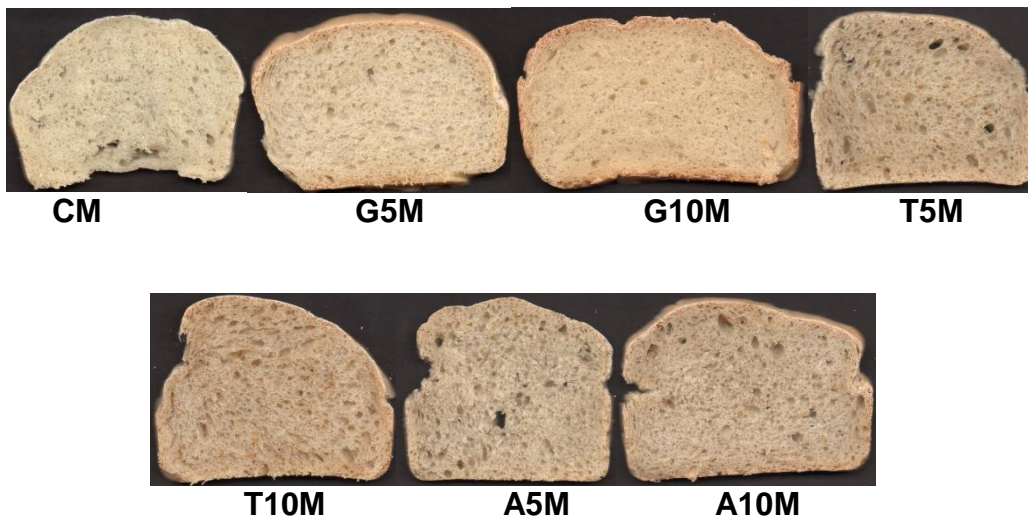


FIGURA 7. Imágenes de las siete muestras de pan donde se observa la variación de la porosidad de las 7 muestras

En la Figura 8 se muestra que el CM muestra diferencias significativas entre el A5M y el G10M.

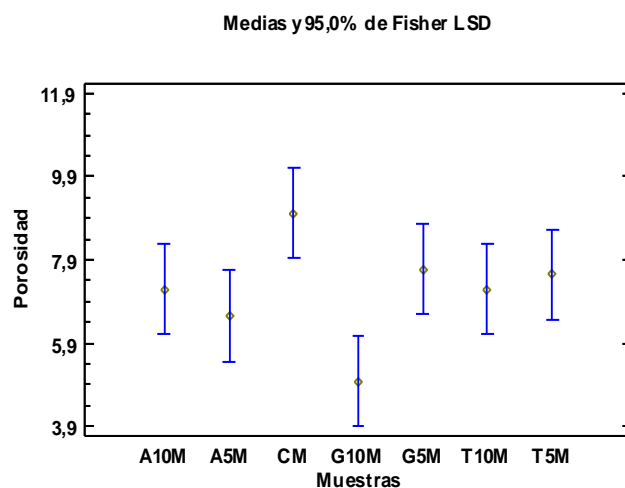


FIGURA 8. Representación de las medias de múltiples rangos para la porosidad de los siete tipos de pan.

4. CONCLUSIONES

Con respecto a la textura los panes con sustitución de proteína de guisante son más duros que los demás panes mientras que el pan control presenta mayor elasticidad.

En cuanto al color la corteza del pan control y los panes con sustitución de del 5% de proteínas de insectos y guisante presentaron mayor luminosidad y tienen una tendencia más hacia los colores apagados y una

tonalidad amarilla debido a que estos panes tienen una menor sustitución de harina.

El color de la miga del pan control presentó diferencias significativas con los panes con sustitución de proteína de insecto debido a que el color de la harina es más oscura, el pan control y los panes con sustitución de proteína de guisante tienen una tendencia hacia los colores claros, mientras que los panes con sustitución de proteína de insectos tienen una tendencia a los colores grisáceos y apagados, el resto de panes presentan una coloración amarilla.

Con respecto a la aw todos los panes presentaron una aw alta, esto se debe a las condiciones de horneado, tiempo y temperatura que hace que estén propensos a contaminación por mohos.

A medida que se añade la harina de insecto la proteína del pan aumenta.

La humedad de las harinas se encuentra dentro de los parámetros establecidos en comparación con estudios de otras harinas.

Con respecto a la reología el valor de P y W (tenacidad y fuerza de la harina) en la harina con sustitución de 10% guisante es mayor que los demás panes, el valor de L y G (extensibilidad y punto de rompimiento) fueron mayores en la harina control que en el resto de panes.

Con respecto al análisis de imagen, debido a la sustitución de proteína se obtuvieron panes menos porosos y por lo tanto más duros y menos elásticos.

Limitaciones

Además de las pruebas fisicoquímicas y reológicas que se han realizado se recomienda realizar posteriormente análisis sensoriales de los panes estudiados.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mis padres Hugo y Fabiola por ser los pilares y el apoyo más importantes en la culminación del Máster y a la Dra. Purificación García por ser una excelente guía en la realización del trabajo final.

5. REFERENCIAS

- EFSA Scientific Committee (2015). Scientific Opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10),4257. <http://dx.doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257> (60 pp.).
- González, C. M., Garzón, R., & Rosell, C. M. (2018). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (January), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.021>
- Iglesias, E. (2012). Mejora del valor nutricional y tecnológico de productos de panadería por incorporación de ingredientes a base de chía (*Salvia hispánica L.*). Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia
- Indrani, D., Manohar, R. S., Rajiv, J., & Rao, G. V. (2007). Alveograph as a tool to assess the quality characteristics of wheat flour for parotta making, 78, 1202–1206. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.032>
- Laguna, L., Picouet, P., Guàrdia, M. D., Renard, C. M. G. C., & Sarkar, A. (2017). In vitro gastrointestinal digestion of pea protein isolate as a function of pH, food matrices,

- autoclaving, high-pressure and re-heat treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 511–519. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.021>
- Loja, J. 2013. Sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum spp*) por la harina de banano (*Musa Cavendish*), y su influencia en las características reológicas de la masa (elasticidad y tenacidad) para la elaboración de pan común. Trabajo de grado. Universidad de Machala
- Maneffa, A. J., Stenner, R., Matharu, A. S., Clark, J. H., Matubayasi, N., & Shimizu, S. (2017). Water activity in liquid food systems: A molecular scale interpretation. *Food Chemistry*, 237, 1133–1138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.046>
- Oliveira, L. M. De, Jantzen, A., & Cadaval, C. L. (2017). Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44(December 2016), 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.015>
- Osimani, A., Milanović, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., Aquilanti, L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 150–163. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.06.007>
- Pauly, A., & Delcour, J. A. (2018). Impact of water-extractable components from different cereals on the quality of oat bread. *Journal of Cereal Science*, 79, 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.10.006>
- Pérez, A., García, R. (2013). Evaluación del comportamiento reológico de dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum L*) acondicionada con mezcla de fibras comerciales. Revista virtual pro 2011, Algunas operaciones unitarias aplicadas en la industria de alimentos Doc 75 pag 100.
- Sanz, N. 2010. Desarrollo de panes especiales con harina integral de amaranto. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia
- Sheikholeslami, Z., Karimi, M., Komeili, H. R., & Mahfouzi, M. (2018). A new mixed bread formula with improved physicochemical properties by using hull-less barley flour at the presence of guar gum and ascorbic acid. *Lwt*, 93(November 2017), 628–633. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.001>
- Wandersleben, T., Morales, E., Burgos-Díaz, C., Barahona, T., Labra, E., Rubilar, M., & Salvo-Garrido, H. (2018). Enhancement of functional and nutritional properties of bread using a mix of natural ingredients from novel varieties of flaxseed and lupine. *LWT - Food Science and Technology*, 91(January), 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.029>