

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DEL SUBPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA AL PROCESADO DE PAN

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Alumna: Alejandra Lucas Franco

Tutor: Prof. D. Raúl Grau Meló

Director experimental: D. Samuel Verdú Amat

Curso académico: 2017-2018

Valencia, junio de 2018

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DEL SUBPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA AL PROCESADO DE PAN

RESUMEN

En el presente trabajo se ha llevado a cabo la elaboración de panes con harina de trigo y sustitución parcial de ésta por el subproducto obtenido de la fabricación de horchata de chufa, con el fin de aumentar su contenido en fibra. Durante el experimento, se han observado notables cambios en la estructura y funcionalidad de los panes, por lo que resulta necesario la adición de ingredientes mejorantes del proceso de elaboración, como pueden ser la harina de chía o de garbanzo. Así pues, el objetivo de dicho ensayo se engloba en estudiar el efecto que provoca la sustitución parcial de la harina de trigo por las distintas harinas mencionadas.

Se diseñaron diferentes formulaciones para el experimento. En primer lugar, la sustitución parcial de harina de trigo por el subproducto en las concentraciones de 5, 10 y 20%. Posteriormente, la sustitución de harina de trigo por la de garbanzo en un 10% para cada uno de los niveles de sustitución con el subproducto. Y, por último, para cada formulación con el subproducto, la sustitución de harina de trigo por la de chía se ensayó en un 5%.

Los parámetros evaluados durante el proceso de elaboración fueron el análisis de la capacidad fermentativa y variación de masa durante el procesado, cuyos resultados ayudaron para realizar las determinaciones del producto final, que fueron el análisis de volumen específico, de humedad, de actividad de agua y de textura.

El cambio más desfavorable observado al introducir al proceso el subproducto fue el descenso de la capacidad fermentativa de los panes, lo que se traduce en una disminución del volumen específico de las piezas, de forma que el efecto se potencia a medida que aumenta el grado de sustitución de la harina de trigo, ya que el gluten que ésta contiene es el responsable de mantener la estructura capaz de retener los gases.

Al introducir la harina de garbanzo como mejorante del proceso, en general no existen diferencias significativas, incluso en las formulaciones con mayor nivel de sustitución se consiguieron peores resultados.

En cambio, la incorporación de harina de chía implicó una mejora de la capacidad fermentativa gracias al mucilago que la conforma y que minimiza el efecto negativo de la fibra procedente del subproducto, llegando a ser esta similar a la de masas con solo harina de trigo. Pero el incremento de la fibra, que supuso su adición, produjo cambios en los parámetros texturales haciendo que incrementase la dureza y que los catadores evaluaran en menor medida que a los panes control.

Palabras clave: Fibra, subproducto, chufa, harina de chía, harina de garbanzo, pan, capacidad fermentativa, volumen específico.

Titulación: Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Curso académico: 2017-2018

Alumna: Alejandra Lucas Franco

Tutor: Prof. D. Raúl Grau Meló

Dir. Experimental: D. Samuel Verdú Amat

Valencia, junio de 2018

ABSTRACT

In the current project has been carried out the elaboration of bread with wheat flour and partial replacement of this by the sub-product obtained from the manufacture of tiger nut “horchata”, to increase its fiber content. During the experiment, remarkable changes in the structure and functionality of the breads have been observed, so it's necessary to add ingredients that improve the production process, such as chia o chickpea flour. Therefore, the objective of this test is encompassed in studying the effect caused by the partial replacement of wheat flour by the different mentioned flours.

Different formulations were designed for the experiment. First, the partial replacement of wheat flour by the sub-product in the concentrations of 5, 10 and 20%. Subsequently, the substitution of wheat flour for the one of chickpea in 10% for each of the substitution levels with the sub-product. And finally, for each formulation with the sub-product, the substitution of wheat flour for chia flour was tested at 5%.

The parameters evaluated during the elaboration process were the analysis of the fermentative capacity and mass variation during the processing, whose results helped to make the determinations of the final product, which were the analysis of specific volume, humidity, water activity and texture.

The most unfavourable change observed when introducing the sub-product to the process was the decrease in the fermentative capacity of the loaves, which translates into a decrease in the specific volume of the pieces, so that the effect is enhanced when the substitution level of wheat flour is increased, because the gluten contained in it is responsible for maintaining the structure to retain the gases.

When introducing the chickpea flour as a process improver, in general there are no significant differences, even in the formulations with the highest level of substitution, worse results were obtained.

However, the test with chia flour generated an improvement in the fermentative capacity due to its mucilage, which minimizes the negative effect of the fibre from the sub-product, being similar to that only with wheat flour. But the increase of fibre, which supposed the chia addition, produced changes in the textural parameters, increasing the hardness and inducing the tasters to evaluate in a poorer way than control breads.

Key words: Fiber, sub-product, tiger nut, chia flour, chickpea flour, bread, fermentative capacity, specific volume.

Titulación: Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Curso académico: 2017-2018

Alumna: Alejandra Lucas Franco

Tutor: Prof. D. Raúl Grau Meló

Dir. Experimental: D. Samuel Verdú Amat

Valencia, junio de 2018

ÍNDICE

I.	JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	4
II.	OBJETIVOS	4
III.	INTRODUCCIÓN	5
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
IV.1.	MATERIAS PRIMAS	6
IV.2.	PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS PANES.....	7
IV.2.1.	Diagrama de flujo	7
V.	ANÁLISIS REALIZADOS	10
V.1.	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FERMENTATIVA	10
V.2.	ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE MASA DURANTE EL PROCESADO	10
V.3.	ANÁLISIS DEL VOLUMEN ESPECÍFICO	10
V.4.	ANÁLISIS DE HUMEDAD	11
V.5.	ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA	11
V.6.	ANÁLISIS DE TEXTURA	11
V.7.	ANÁLISIS SENSORIAL	11
V.8.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	12
VI.	RESULTADOS	12
VI.1.	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FERMENTATIVA	12
VI.2.	ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE MASA DURANTE EL PROCESADO	14
VI.3.	ANÁLISIS DEL VOLUMEN ESPECÍFICO	17
VI.4.	DETERMINACIÓN DEL AGUA DE LOS PANES	18
VI.5.	ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA	19
VI.6.	ANÁLISIS DE TEXTURA	20
VI.7.	EVALUACIÓN SENSORIAL	22
VII.	CONCLUSIONES	23
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Subproducto procedente de la elaboración de horchata (izquierda) y semillas de chía trituradas (derecha).	6
Figura 2. Masa de pan en los moldes antes de la etapa de fermentación.....	7
Figura 3. Diagrama del proceso de elaboración de los panes.....	8
Figura 4. Puntero láser con el que se determinó la capacidad fermentativa de las masas.	10
Figura 5. Incremento de la altura de los panes elaborados con subproducto de la horchata en la etapa de fermentación.....	12
Figura 6. Incremento de la altura los panes elaborados con el subproducto y harina de garbanzo.....	13
Figura 7. Incremento de la altura de los panes elaborados con el subproducto y harina chía. ..	14
Figura 8. Merma de peso en el horneado de los panes elaborados con el subproducto.	15
Figura 9. Merma de peso en el horneado de los panes elaborados con el subproducto y harina de garbanzo.....	15
Figura 10. Merma de peso en el horneado de los panes elaborados con el subproducto y harina de chía.	16
Figura 11. Variación de masa durante la etapa de atemperado.....	17
Figura 12. Resultados estadísticos de parámetros texturales de panes elaborados a base del subproducto de horchata de chufa y harinas de chía y garbanzo.	21
Figura 13. Relación de la capacidad fermentativa, volumen y dureza de panes elaborados a base del subproducto de horchata de chufa y harinas de chía y garbanzo.....	21
Figura 14. Análisis sensorial de panes elaborados con harina de trigo puro, subproducto de horchata de chufa (5%, 10%, 20%) y mezcla subproducto (5%, 10%)-mejorador harina de chía (5%)	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones en porcentaje de cada materia prima en base al peso de la masa de pan obtenida en las formulaciones con introducción del subproducto.	9
Tabla 2. Concentraciones en porcentaje de cada materia prima en base al peso de la masa de pan obtenida en las formulaciones con introducción del subproducto y harina de garbanzo. ...	9
Tabla 3. Concentraciones en porcentaje de cada materia prima en base al peso de la masa de pan obtenida en las formulaciones con introducción del subproducto y harina de chía.	9
Tabla 4. Resultados del análisis estadístico de la capacidad fermentativa de los panes elaborados en la etapa de fermentación.	14
Tabla 5. Resultados del análisis estadístico de la variación de masa total tras el procesado de los panes.....	16
Tabla 6. Resultados del análisis estadístico del volumen específico de los panes elaborados...	18
Tabla 7. Resultados del análisis estadístico para el agua teórica de los panes elaborados con subproducto.	18
Tabla 8. Resultados del análisis estadístico para el agua teórica de los panes elaborados con subproducto y harina de garbanzo.	18
Tabla 9. Resultados del análisis estadístico para el agua teórica de los panes elaborados con subproducto y harina de chía.....	19
Tabla 10. Resultados estadísticos de la determinación de actividad de agua de los panes.	19
Tabla 11. Resultados estadísticos de la determinación de textura de los panes elaborados a base del subproducto, harina de chía y garbanzo.	21
Tabla 12. Resultados estadísticos del análisis sensorial de los panes elaborados a base del subproducto, y mezcla subproducto - harina de chía.....	22

1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El sector de la panadería tiene una gran importancia a nivel europeo y nacional, y es uno de los más versátiles del mercado. El pan acepta el desarrollo de distintos sabores y formatos, y aprovechando el actual interés de la población por una alimentación sana, resulta interesante fomentar productos de acuerdo a esta demanda. Como es un producto que se concibe como natural y tradicional, se busca dejar al margen el uso de aditivos para mejorar el aporte nutricional y el proceso de elaboración, como podría ser el bromato de potasio, que aumenta la firmeza y el volumen y mejora la textura (Preston & Dexter, 1994). Por ello, se opta por la introducción de otras materias primas, como el subproducto procedente de la elaboración de horchata de chufa, la harina de chía o la de garbanzo.

La incorporación al pan de este subproducto lo convierte en una fuente extra de fibra, diferenciándolo del pan tradicional o blanco, en el que la cantidad de fibra no es destacable. Esto es debido a que, en el proceso de refinado de la harina de trigo destinada a la elaboración del pan, queda excluido el salvado del cereal, puesto que este ya tiene una vía de escape rentable orientada a la alimentación animal, a diferencia del subproducto procedente de la elaboración de horchata.

En contrapartida, su adición supone una serie de cambios en las propiedades físico-químicas del pan, obligando a buscar un ingrediente como mejorador del proceso. Como ingrediente mejorador para el proceso de fermentación se escogió la semilla de chía, característica por sus notables propiedades nutricionales, entre las que cabe destacar su poder antioxidante, prevención de enfermedades cardiovasculares o favorecer la digestión. Por otra parte, también se escogió a la harina de garbanzo, ya que es un alimento muy nutritivo, rico en vitaminas del grupo B, aporta ácidos grasos Omega 6 y contiene cantidades óptimas de fibra, entre otras características.

2. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo es el estudio del efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por el subproducto molido procedente de la elaboración de horchata de chufa en el procesado de pan y producto terminado.

Dicho objetivo engloba los siguientes objetivos específicos:

- Estudio del efecto de la adición de harina procedente de la elaboración de horchata de chufa en el procesado de pan y producto terminado.
- Estudio del efecto de la adición de harina de chía como ingrediente mejorador del proceso de elaboración de panes y calidad nutricional de éste.
- Estudio del efecto de la adición de harina de garbanzo, sometida a tratamiento térmico, como ingrediente mejorador del proceso de elaboración de panes y calidad nutricional de éste.

3. INTRODUCCIÓN

En un entorno agroalimentario, el sector de la panadería es uno de los más importantes de España, siendo el pan un alimento consumido por la mayoría de la población. Por ello surge la necesidad de investigar nuevos medios que innoven en su formulación para mejorar el perfil nutricional del pan, como podría ser la adición del subproducto procedente de la elaboración de horchata de chufa, con un alto contenido en fibra. De esta manera se obtendría un pan con un aporte extra en fibra, a diferencia del pan blanco o tradicional.

Otra opción para aumentar el contenido en fibra del pan, sin la necesidad de introducir nuevas materias primas al proceso, sería simplemente añadir el salvado de trigo de la harina que se va a utilizar. Sin embargo, su adición supone cambios desfavorables en el volumen de la pieza, aumenta la firmeza de la miga y acelera el endurecimiento (Karaog, 2006).

La chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck.) es un tubérculo utilizado para la elaboración de "horchata de chufa", una bebida lechosa, típica en España, cuyo proceso genera una gran cantidad de subproductos con alto contenido en fibra. Así pues, se intenta recuperar este compuesto valioso para ayudar en la reducción de desechos, e introducirlo en el procesado de ciertos alimentos como ingredientes de nuevos productos (Polite, 2009).

En cuanto a su composición, la chufa es rica en carbohidratos, lípidos, fibra, minerales (K, P, Ca) y vitaminas E y C. Su perfil de ácidos grasos es similar al del aceite de oliva, con 23-31g/100 g de lípidos (Elena & Fern, 2012). Tiene una alta proporción de fibra dietética total (59.71 g/100g), compuesta fundamentalmente por fibra insoluble (99.8%), superando a la cantidad de fibra proporcionada por otras fuentes (salvado de avena, salvado de arroz...) (Polite, 2009). Por su elevado contenido en fibra, el subproducto podría ser eficaz en el tratamiento y prevención de diversas enfermedades, como cáncer de colon (State, 2009), enfermedades coronarias, obesidad, diabetes, y ayuda a perder peso. ("The Phytochemical Composition and Some Biochemical Effects of Nigerian Tigernut (*Cyperus esculentus* L .) Tuber," 2010).

Referido al efecto que produce en el proceso de elaboración, la adición del subproducto supone una serie de cambios en las propiedades físico-químicas del pan relacionados con la textura, consistencia, reología y características sensoriales (Bortnowska et al., 2016), afectando directamente a la estructura de la red de gluten formada, e indirectamente a la capacidad de retención de gases y comportamiento de la masa, como se estudió al introducir chía al pan (Verdú et al., 2015). Debido a los cambios que produce la adición de este subproducto, resulta inevitable la introducción de nuevos ingredientes que mejoren las propiedades afectadas. Para mantener la ventaja de la relación que se le asigna al pan con un producto natural, es interesante mejorar su procesado sin la ayuda de aditivos, como, por ejemplo, harina de chía o la harina de garbanzo.

Una opción sería la adición de harina de semillas de chía (*Salvia hispánica* L.), las cuales son frecuentemente consumidas en varios países americanos, mientras que en Europa es completamente desconocida (Puig, n.d.). Debido a sus propiedades, forma un ingrediente de interés como mejorador del proceso. Está formada por proteínas (15-20 g/100g), lípidos (30-33 g/100g), ceniza (4-5 g/100g) y carbohidratos (26-41 g/100g), y tiene un alto contenido en fibra (18-30 g/100g), que incluye una goma de polisacárido con un mucílago de alto peso molecular. Son ricas en ácidos grasos poliinsaturados, especialmente ácidos omega-3 (50-57 g/100g) y omega-6 (17-26 g/100g), en antioxidantes, minerales y vitaminas, por lo que su consumo

favorece un funcionamiento correcto del intestino, disminuir el colesterol en sangre, y disminuir la incidencia de enfermedades con síndromes metabólicos (Coelho & Salas-Mellado, 2015).

Otra alternativa sería la adición de harina de garbanzo tratada térmicamente, que permite obtener óptimos resultados en el horneado, aumento del tamaño de la pieza, contribuyendo a una apariencia y sensación en boca de calidad, según se ensayó en estudios de alimentos de bollería (Optimisation, 2012). El garbanzo (*Cicer arietinum L.*) es una leguminosa rica en proteínas, fibra, carbohidratos y oligoelementos (Meng, Threinen, Hansen, & Driedger, 2010). Algunos autores han estudiado las propiedades funcionales de sus proteínas, destacando las buenas características de horneado y sus propiedades emulsionantes (Boye et al., 2010) (Miñarro, Albanell, Aguilar, Guamis, & Capellas, 2012).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIAS PRIMAS

Para la elaboración de los panes se emplearon como ingredientes harina de trigo (Molí del Picó-Harinas Segura S.L. Valencia, Spain), aceite de girasol refinado (La Masía, Oleomasia S.A, Sevilla), levadura prensada refrigerada (Levital, Lesaffre Iberica S.A.), azúcar blanco (Azucarera, AB Azucarera Iberia SLU, Madrid), sal (Salinas del Odiel S.L., Huelva), agua y, dependiendo de la formulación, subproducto molido procedente de la elaboración de horchata de chufa (obtenido de una empresa del sector) y semillas de chía molidas (Int-Salim, Salud e Imaginación S.L., Barcelona) o harina de garbanzo (Sorribas S.A. Polinyà del Vallès, Barcelona).



Figura 1. Subproducto procedente de la elaboración de horchata (izquierda) y semillas de chía trituradas (derecha).

Tanto el subproducto procedente de la elaboración de horchata de chufa como las semillas de chía, fueron molidos inicialmente con un robot de cocina (Thermomix® TM31, Vorwerk, Germany) para minimizar el tamaño de los granos (Figura 1) obteniéndose un producto de aspecto similar a la harina.

La harina de garbanzo fue sometida a un tratamiento térmico de 100°C durante 30 minutos para tratar de aumentar la capacidad fermentadora, dado que en estudios con avena (Verdú, Vázquez, et al., 2017) ésta incrementó con el tratamiento térmico.

4.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS PANES

4.2.1. Diagrama de flujo

A continuación, en la Figura 3, se muestra el diagrama de flujo de la elaboración de los panes. Previamente se establecieron unos estándares del proceso, de forma que todos aquellos se llevaron a cabo en las mismas condiciones de amasado, fermentado, horneado y enfriado, para facilitar el desarrollo de conclusiones de los resultados obtenidos (Verdú, Vásquez, et al., 2017).

Dado que la composición de los panes varía según la formulación que se esté elaborando, es decir, según el nivel de sustitución de la harina de trigo y de la presencia o no de harina de chíca o garbanzo, y puesto que éstas últimas presentan diferente humedad a la de trigo, hubo que asegurar que la fracción de extracto seco y agua se mantuviera constante (0.84 gramos de agua por gramo de soluto). Para ello, una vez conocida la humedad de las tres harinas, se realizaron los cálculos pertinentes, ajustando la cantidad de agua en el procesado.

En primer lugar, se pesaron todos los ingredientes, de acuerdo a cada formulación, en una balanza, para proceder al amasado. La mezcla de las materias primas se realizó con ayuda del robot de cocina para asegurar un amasado de los ingredientes uniforme en todos los ensayos. Los primeros ingredientes que se introdujeron en el equipo fueron los elementos líquidos (agua y aceite), el azúcar y la sal, los cuales se mezclaron durante 4 minutos a 37 °C a 500 rpm. A continuación, se añadió la levadura prensada, siguiendo el mezclado en las mismas condiciones durante 30 segundos. Por último, se introdujo la harina (o harinas, según la formulación), durante 4.5 minutos a 37°C, programando el equipo en la función “espiga”, característica para la elaboración de panes, garantizando una masa homogénea.

A continuación, se procedió al llenado de los moldes metálicos, previamente pesados, para que cada uno de ellos contara con la misma cantidad de masa de pan. Para evitar la adherencia de la masa al molde, se colocó en toda su superficie papel de aluminio ligeramente impregnado en aceite (Figura 2).



Figura 2. Masa de pan en los moldes antes de la etapa de fermentación.

Posteriormente, se introdujeron los moldes llenos en una cámara fermentadora (KBF720 Binder, Tuttlingen, Germany), siempre en la misma posición y altura, para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad fermentativa de cada pan. Los panes se sometieron a fermentación en unas condiciones de 90% de humedad relativa y 37°C, durante una hora.

Una vez fermentada la masa, se llevó a cabo la etapa de cocción en un horno (Rotisserie, DeLonghi, Italy). Las condiciones se establecieron en 180°C durante 35 minutos, y para evitar un exceso de cocción en la superficie del pan, se colocó sobre éstos papel de aluminio durante los primeros 15 minutos.

Por último, se retiró el pan de los moldes y se dejó en reposo para enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos, y proceder al análisis de los diferentes parámetros sobre el producto terminado.

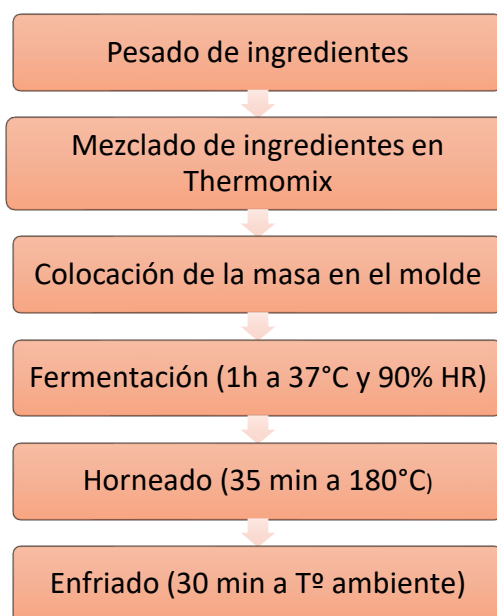


Figura 3. Diagrama del proceso de elaboración de los panes.

La experiencia se diseñó con diferentes grados de sustitución parcial de la harina de trigo, variando las concentraciones del subproducto industrial procedente de la elaboración de horchata de chufa, y las de los ingredientes utilizados como mejoradores del proceso, harina de chí a o de garbanzo. En las tablas 1, 2 y 3 se muestran las concentraciones en porcentajes de cada materia prima en base al peso de la masa de pan. Las formulaciones testadas fueron las siguientes:

1. Control (C). Pan blanco elaborado a base de harina de trigo, exclusivamente.
2. Chufa 5% (CHU5): Pan elaborado con una sustitución del 5% en base seca de la harina de trigo por el subproducto.
3. Chufa 10% (CHU10). Pan elaborado con una sustitución del 10% en base seca de la harina de trigo por el subproducto.
4. Chufa 20% (CHU20). Pan elaborado con una sustitución del 20% en base seca de la harina de trigo por el subproducto.
5. Garbanzo 10% + Chufa 5% (G10+CHU5). Pan elaborado con una sustitución del 5 y 10%, respectivamente, en base seca, de la harina de trigo por el subproducto y harina de garbanzo.
6. Garbanzo 10% + Chufa 10% (G10+CHU10). Pan elaborado con una sustitución del 10 y 10%, respectivamente, en base seca, de la harina de trigo por el subproducto y harina de garbanzo.

7. Garbanzo 10% + Chufa 20% (G10+CHU20). Pan elaborado con una sustitución del 20 y 10%, respectivamente, en base seca, de la harina de trigo por el subproducto y harina de garbanzo.
8. Chía 5% + Chufa 5% (CHI5+CHU5). Pan elaborado con una sustitución del 5 y 5%, respectivamente, en base seca, de la harina de trigo por el subproducto y harina de chía.
9. Chía 5% + Chufa 10% (CHI5+CHU10). Pan elaborado con una sustitución del 10 y 5%, respectivamente, en base seca, de la harina de trigo por el subproducto y harina de chía.
10. Chía 5% + Chufa 20% (CHI5+CHU20). Pan elaborado con una sustitución del 20 y 5%, respectivamente, en base seca, de la harina de trigo por el subproducto y harina de chía.

Tabla 1. Concentraciones en porcentaje de cada materia prima en base al peso de la masa de pan obtenida en las formulaciones con introducción del subproducto.

	C	CHU5	CHU10	CHU20
<i>Harina de Trigo (HT)</i>	57.3	54.4	51.7	45.9
<i>Subproducto Chufa (HCHU)</i>	0	2.9	5.6	11.3
<i>Agua</i>	33.5	33.5	33.5	33.5
<i>Aceite</i>	1.9	1.9	1.9	1.9
<i>Levadura</i>	1.9	1.9	1.9	1.9
<i>Azúcar</i>	3.9	3.9	3.9	3.9
<i>Sal</i>	1.5	1.5	1.5	1.5

Tabla 2. Concentraciones en porcentaje de cada materia prima en base al peso de la masa de pan obtenida en las formulaciones con introducción del subproducto y harina de garbanzo.

	C	G10+CHU5	G10+CHU10	G10+CHU20
<i>Harina de Trigo (HT)</i>	57.3	48.8	45.9	40.2
<i>Subproducto Chufa (HCHU)</i>	0	2.8	5.6	11.3
<i>Harina de Garbanzo (HG)</i>	0	5.2	5.2	5.21
<i>Agua</i>	33.5	34	34	34
<i>Aceite</i>	1.9	1.9	1.9	1.9
<i>Levadura</i>	1.9	1.9	1.9	1.9
<i>Azúcar</i>	3.9	3.9	3.9	3.9
<i>Sal</i>	1.5	1.5	1.5	1.5

Tabla 3. Concentraciones en porcentaje de cada materia prima en base al peso de la masa de pan obtenida en las formulaciones con introducción del subproducto y harina de chía.

	C	CHI5+CHU5	CHI5+CHU10	CHI5+CHU20
<i>Harina de Trigo (HT)</i>	57.3	51.5	48.8	43
<i>Subproducto Chufa (HCHU)</i>	0	3.3	5.9	11.6
<i>Agua</i>	33.5	33.6	33.7	33.9
<i>Harina de Chía (HCHI)</i>	0	2.3	2.3	2.3
<i>Aceite</i>	1.9	1.9	1.9	1.9
<i>Levadura</i>	1.9	1.9	1.9	1.9
<i>Azúcar</i>	3.9	3.9	3.9	3.9
<i>Sal</i>	1.5	1.5	1.5	1.5

5. ANÁLISIS REALIZADOS

5.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FERMENTATIVA

La capacidad fermentativa de las masas de pan se analizó en el fermentador midiendo sus respectivas alturas con un metro láser (Bosch Groen PLR 30 C). Las mediciones se realizaron cada 10 minutos (Figura 4).



Figura 4. Puntero láser con el que se determinó la capacidad fermentativa de las masas.

5.2. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE MASA DURANTE EL PROCESADO

Para determinar el incremento de masa de los diferentes panes en la etapa de horneado, se colocó el horno sobre una báscula con un decimal de precisión, tarada previamente. Se realizaron mediciones cada 5 minutos de la pérdida de peso de los panes.

Para analizar la variación de masa durante el procesado, los cálculos se realizaron por tandas de tres panes, siguiendo la Ecuación 1:

$$\Delta \text{Masa Enfriado (\%)} = \frac{m_F - m_I}{m_I} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde m_F es la masa a cada tiempo de toma de muestra y m_I es la masa de las piezas antes del horneado.

En el análisis de la variación de masa durante el enfriado, los cálculos se realizaron utilizando también la Ecuación 1, pero en este caso m_F es la masa final de las tres piezas tras el enfriado y m_I es la masa de las piezas tras el horneado.

5.3. ANÁLISIS DEL VOLUMEN ESPECÍFICO

El análisis de volumen de los panes terminados se realizó según el siguiente método. Se llenó un vaso de precipitados con unas partículas esféricas de plástico de pequeño tamaño, de las cuales, previamente se determinó su densidad. Se introdujo el pan dentro del vaso, y se pesó la masa de partículas que había desplazado. Mediante la siguiente ecuación pudo determinarse el volumen de los panes:

$$\text{Volumen específico} = \frac{m_D / \rho_P}{m_F} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde m_D es la masa de las partículas desplazadas, ρ_P es la densidad de dichas partículas, y m_F es la masa del pan frío.

5.4. ANÁLISIS DE HUMEDAD

La determinación de la humedad de las harinas utilizadas se realizó para conocer los balances de materia, agua y solutos, y así mantener constante el extracto de materia seca en todos los panes.

Se llevó a cabo mediante el método gravimétrico (Ecuación 3), que consiste en el secado en una estufa de las diferentes muestras de harinas colocadas en pesa sustancias, hasta que las muestras alcancen un peso constante (AACC 44-40 (AACC, 2009)). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(m_S - m_F)}{(m_H - m_F)} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde m_S es la masa del pesa sustancias con la muestra seca tras 24 horas en la estufa, m_F la masa del pesa sustancias, y m_H la masa del pesa sustancias con la muestra de harina.

5.5. ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA

El análisis de actividad de agua se realizó en un equipo DECAGON Aqualab CX-2, Pullman, WA, USA, dotado con una precisión de tres decimales. Los ensayos se realizaron por duplicado de cada pan, colocando la muestra en recipientes cilíndricos de plástico e introduciéndolos directamente en el equipo. El análisis se realizó por triplicado para cada formulación. El resultado se obtuvo por lectura directa.

5.6. ANÁLISIS DE TEXTURA

El análisis de textura se llevó a cabo con un texturómetro (Stable Micro Systems, Mod. Texture Analyzer -XR2, Godalming, Surrey UK). Se realizó un análisis TPA (Texture Profile Analysis). Las muestras de pan fueron uniformes, de 30 mm de altura, las cuales se comprimieron mediante un pistón de compresión (P/75) de 75 mm de diámetro con una velocidad de ensayo de 10.00 mm/s y deformación del 50%. Para cada formulación se realizaron 3 muestras, y de cada muestra se obtuvieron tres cilindros. Los parámetros obtenidos fueron la dureza, la elasticidad, la cohesividad, la masticabilidad, la gomosidad y la resiliencia.

5.7. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial se realizó para evaluar la aceptabilidad del consumidor de los panes formulados con subproducto de horchata de chufa y mezcla subproducto –harina de chía, respecto a panes tradicionales elaborados con harina de trigo.

Para la evaluación se fabricaron muestras de panes de 5cm de diámetro, los cuales se codificaron de manera aleatoria. Las muestras se presentaron en platos con la respectiva codificación y en condiciones normales de temperatura 23°C. Las muestras se evaluaron en siete características que son aspecto global, color, olor, textura al tacto, textura en boca, sabor, y aceptación global. El catador evaluó las muestras en una encuesta de escala hedónica que comprendía 1 “No me gusta nada” hasta 10 “Me gusta mucho”.

5.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis estadístico de la varianza según el procedimiento “Anova simple” utilizando para ello el programa informático “Statgraphics Centurion” (versión Centurion XVI.I, StatPoint Technologies, Inc.). El análisis se realizó considerando un nivel de significación del 95% ($P < 0.05$). En aquellas medidas dónde se encontraron diferencias significativas, éstas se analizaron comparando medias con la distribución Fisher LSD (Fisher’s least significant difference).

6. RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FERMENTATIVA

Al analizar el efecto sobre la capacidad fermentativa que produce el subproducto de la horchata, en las diferentes concentraciones añadidas (Figura 5), pudo observarse un notable descenso de la altura de los distintos panes, con respecto al control elaborado únicamente con harina de trigo, con el incremento del nivel de sustitución. Al final del proceso de fermentado existieron diferencias de altura significativas (Tabla 4) entre el control y todas las formulaciones de chufa, destacando la escasa capacidad fermentativa de la concentración del 20% del subproducto.

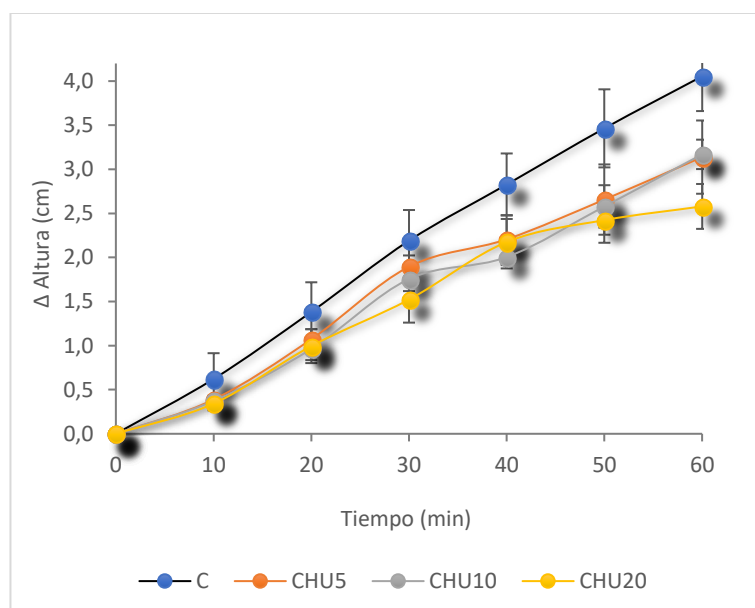


Figura 5. Incremento de la altura de los panes elaborados con subproducto de la horchata en la etapa de fermentación.

En cuanto al efecto producido por la sustitución de un 10% de la harina de trigo de las formulaciones con subproducto, se observaron ligeras mejoras en la capacidad fermentativa para la formulación 10% de harina de trigo por harina de garbanzo más 5% por subproducto, no obteniéndose diferencias significativas con el control al final de la etapa de fermentación (Tabla 4), aun cuando el nivel de sustitución de la harina de trigo fue del 15%. La sustitución por un 10% de harina de garbanzo más un 10% de subproducto se comportó igual que la sustitución única del 10% de subproducto, incluso cuando el nivel de sustitución final fue el doble (20%)

(Tabla 4). En cambio, cuando la sustitución de harina de trigo fue del 20% por harina de garbanzo y de un 20% por subproducto, la capacidad fermentativa disminuyó muchísimo (Figura 6), como consecuencia fundamentalmente de la drástica reducción de gluten que dificultaría la formación de la red de gluten que retiene el gas formado durante la fermentación., lo cual indicaría que se necesitaría más tiempo de fermentación para que la masa alcance mayor altura.

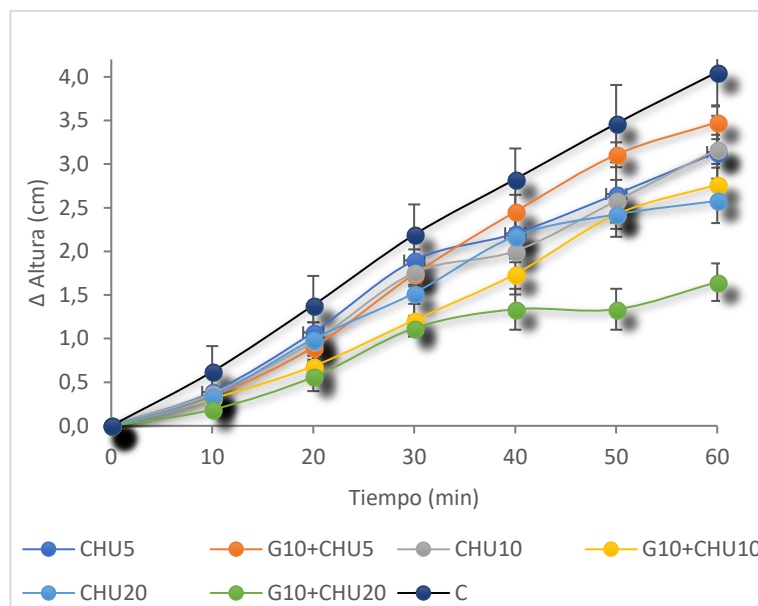


Figura 6. Incremento de la altura los panes elaborados con el subproducto y harina de garbanzo.

La adición de harina de chía se mostró más eficaz que la de harina de garbanzo tratada térmicamente. Como puede observarse en la Figura 7 y en la Tabla 4, al sustituir la harina de trigo por un 5% en harina de chía y un 5 o 10% en subproducto, la capacidad fermentativa fue muy similar a la del control, no existiendo diferencias significativas aun cuando el nivel de sustitución final fue del 10 y 20% respectivamente. Cuando la sustitución fue del 5% por harina de chía y del 20% por subproducto, el resultado fue muy similar al obtenido solo con la sustitución del 20% por subproducto, pero con un nivel de sustitución mayor.

Al igual que lo observado con la harina de garbanzo, aquellas muestras con un contenido en subproducto del 20% son las que tuvieron un menor crecimiento durante la fermentación dado que la fibra produce un efecto de debilitamiento en la masa. Estudios han mostrado que para que se desarrolle la masa de forma óptima, se debe incrementar la cantidad de agua y el tiempo de mezclado (Ktenioudaki & Gallagher, 2012; Sudha, Vetrmani, & Leelavathi, 2007) e incluso incrementar el tiempo de fermentación.

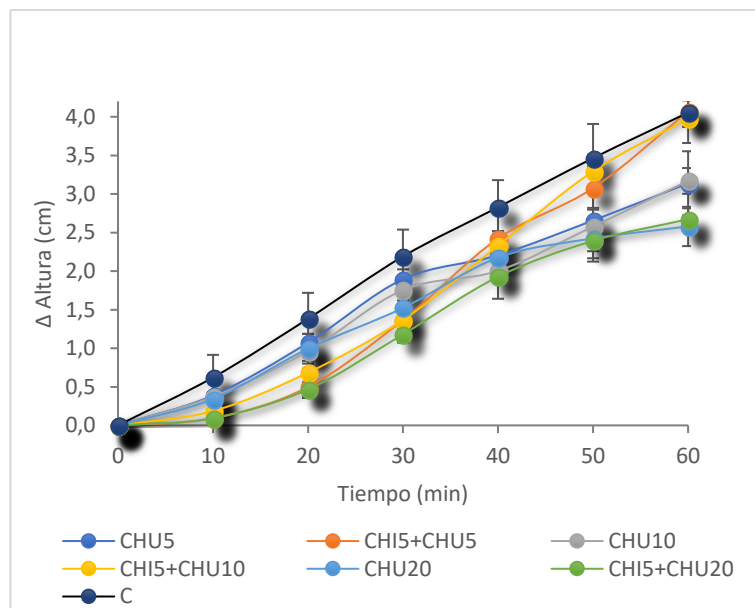


Figura 7. Incremento de la altura de los panes elaborados con el subproducto y harina chí.

Tabla 4. Resultados del análisis estadístico de la capacidad fermentativa de los panes elaborados en la etapa de fermentación a los 60 minutos.

Fórmula	Δ Altura (cm)
<i>Control</i>	<i>4,05±0,39e</i>
<i>CHU5</i>	<i>3,13±0,41cd</i>
<i>CHU10</i>	<i>3,16±0,16d</i>
<i>CHU20</i>	<i>2,57±0,25b</i>
<i>G10+CHU5</i>	<i>3,47±0,19e</i>
<i>G10+CHU10</i>	<i>2,76±0,19bc</i>
<i>G10+CHU20</i>	<i>1,64±0,21a</i>
<i>CHI5+CHU5</i>	<i>4,06±0,14e</i>
<i>CHI5+CHU10</i>	<i>3,97±0,1e</i>
<i>CHI5+CHU20</i>	<i>2,67±0,14b</i>

6.2. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE MASA DURANTE EL PROCESADO

Al observar los resultados de merma durante la etapa del horneado (Figura 8), observamos que no existen diferencias significativas entre el control y las formulaciones con el subproducto, llegando a valores de 12% de merma. Este mismo comportamiento también se dio con la incorporación de harina de garbanzo (Figura 9), si bien ésta redujo ligeramente la merma, aunque sin diferencias estadísticas al final del horneado.

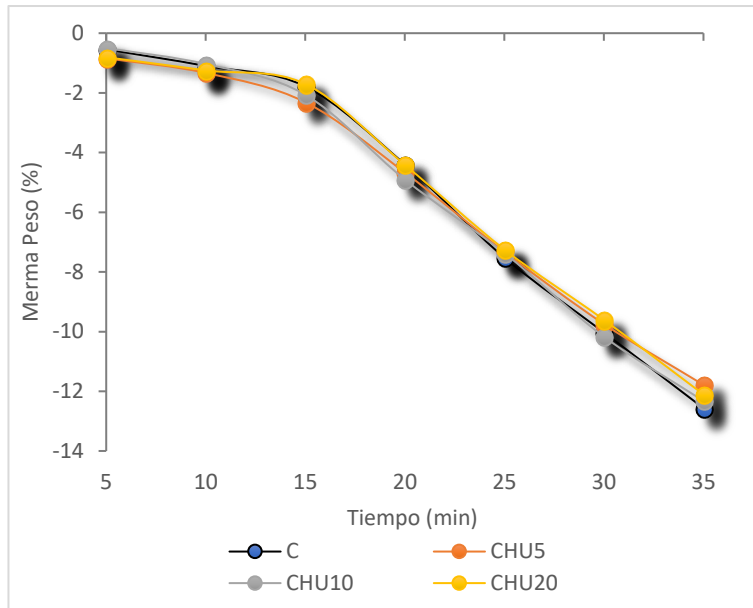


Figura 8. Merma de peso en el horneado de los panes elaborados con el subproducto.

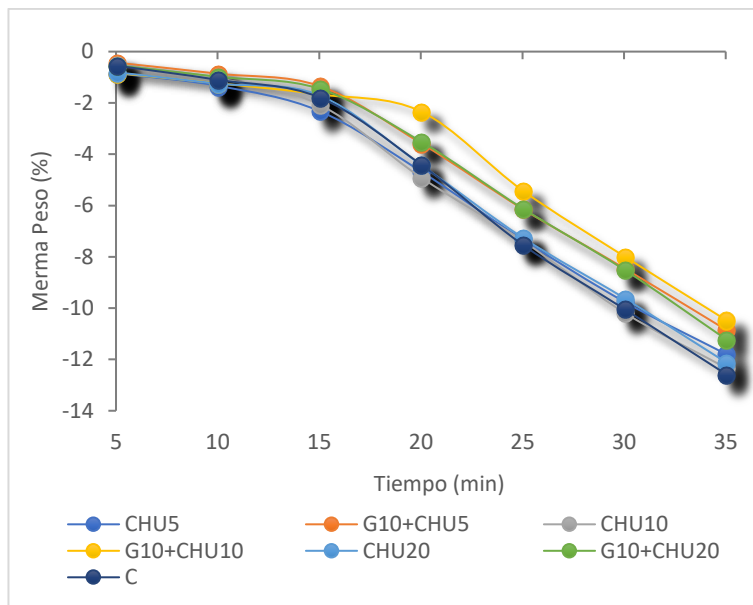


Figura 9. Merma de peso en el horneado de los panes elaborados con el subproducto y harina de garbanzo.

Al sustituir la harina de trigo por el subproducto y por la harina de chía, se evidenció como ésta reduce las mermas de los panes, existiendo diferencias significativas entre éstos y los elaborados sin chía (Figura 10).

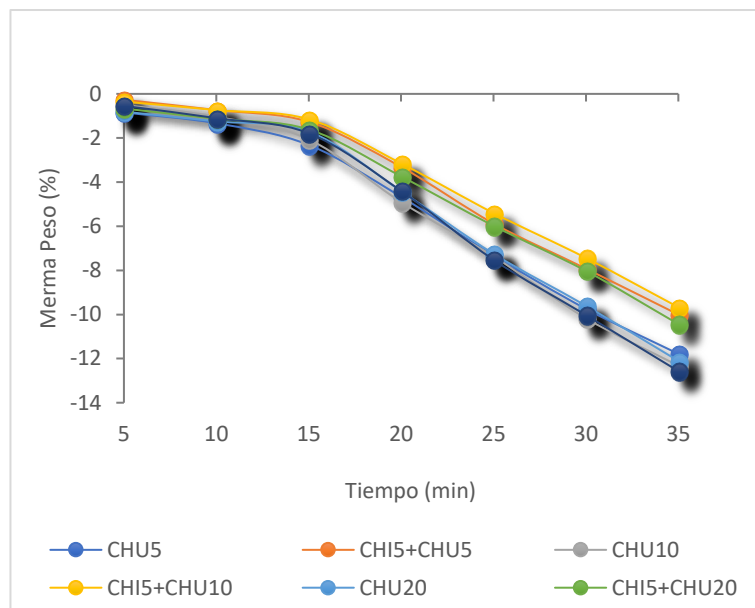


Figura 10. Merma de peso en el horneado de los panes elaborados con el subproducto y harina de chí.

Observando las figuras 8, 9 y 10 se puede apreciar un claro aumento de la pendiente a partir del minuto 15. Esto fue debido a que durante el primer periodo se colocó papel de aluminio sobre los panes para evitar un exceso de cocción en la superficie y fue a partir de estos 15 minutos cuando se retiró, incrementándose la pendiente.

El estudio de la variación de masa durante el atemperado mostró cómo al final todos los panes, a excepción de la formulación de 5% de chí con 20% de subproducto, perdieron la misma masa (Tabla 5), lo que implica que los panes durante este periodo de atemperado fueron perdiendo peso a ritmos diferentes hasta alcanzar todos la misma merma final (Figura 11). Estas pequeñas diferencias en la variación de masa final podrían ser atribuidas a las diferentes capacidades de retención de agua de las fibras añadidas, puesto que la absorción de agua medida en todo el sistema de masa depende de la cantidad de gluten, al retener más agua se reduce la variación de masa, e incrementaría el volumen final.

Tabla 5. Resultados del análisis estadístico de la variación de masa total tras el procesado de los panes a los 35 minutos de cocción.

Fórmula	Variación Masa final (%)
Control	-13,43±1,05a
CHU5	-13,12±1,14ab
CHU10	-13,1±1,36ab
CHU20	-13,15±1,45ab
G10+CHU5	-12,56±0,92ab
G10+CHU10	-12,07±1,09ab
G10+CHU20	-12,16±1,18ab
CHI5+CHU5	-11,73±0,47ab
CHI5+CHU10	-11,85±1,27ab
CHI5+CHU20	-11,48±1,75b

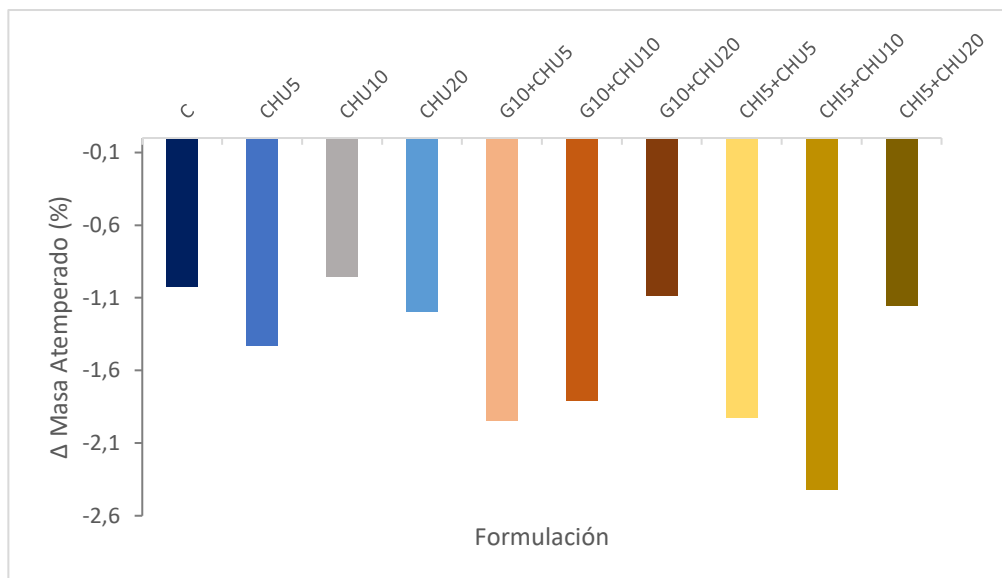


Figura 11. Variación de masa durante la etapa de atemperado

6.3. ANÁLISIS DEL VOLUMEN ESPECÍFICO

El estudio del volumen específico de los panes con sustitución parcial de harina de trigo por subproducto (Tabla 6) mostró la existencia de diferencias significativas entre éstos y el control, dado que no se pudo alcanzar el volumen obtenido con el pan elaborado exclusivamente con harina de trigo. En concreto, la formulación de 20% de subproducto proporcionó el menor.

Al analizar el efecto mejorador de la harina de garbanzo sobre los panes elaborados con el subproducto (Tabla 6), se observaron diferencias significativas, pero desfavorables, en las formulaciones de 10 y 20%. En cuanto a la de 5%, el volumen conseguido con la harina de garbanzo fue igual al de las formulaciones que carecen de ella. Así pues, la harina de garbanzo no actúa como ingrediente mejorador del volumen específico de los panes elaborados con 10 y 20% del subproducto.

Al sustituir la harina de trigo por el subproducto y por la harina de chía se observó cómo la sustitución del 5% en chía incrementa el volumen hasta los valores obtenidos por el control, no existiendo diferencias estadísticas entre ambos (Tabla 6). Para el resto de niveles de sustitución por harina de chía, ésta no produjo cambios respecto a las que no la contenían.

Como se ha mencionado, el volumen incrementó en aquellas muestras elaboradas con subproducto y con harina de chía-subproducto, si bien a partir del 15% de sustitución por fibra disminuye mucho la capacidad de la red de gluten de agua en ella y de retener el gas liberado durante el horneado (Ktenioudaki & Gallagher, 2012).

Tabla 6. Resultados del análisis estadístico del volumen específico de los panes elaborados.

Fórmula	Volumen específico (cm³/g)
<i>Control</i>	3,91±0,43f
<i>CHU5</i>	3,42±0,23e
<i>CHU10</i>	3,32±0,22de
<i>CHU20</i>	2,38±0,47b
<i>G10+CHU5</i>	2,83±0,1c
<i>G10+CHU10</i>	1,73±0,17a
<i>G10+CHU20</i>	2,92±0,07cd
<i>CHI5+CHU5</i>	3,62±0,14ef
<i>CHI5+CHU10</i>	3,47±0,06e
<i>CHI5+CHU20</i>	2,24±0,09b

6.4. DETERMINACIÓN DEL AGUA DE LOS PANES

A partir de la variación de masa, entre la masa y los panes tras el atemperado, y suponiendo que toda ésta se ha producido por la pérdida de agua, se determinó el agua teórica final de los panes mediante un balance de materia. Los resultados han mostrado cómo la incorporación del subproducto (Tabla 7) o el subproducto con harina de garbanzo (Tabla 8) no generaron variaciones significativas entre las distintas formulaciones.

Tabla 7. Resultados del análisis estadístico para el agua teórica de los panes elaborados con subproducto.

Fórmula	Humedad
<i>Control</i>	0,37±0a
<i>CHU5</i>	0,38±0a
<i>CHU10</i>	0,37±0,01a
<i>CHU20</i>	0,37±0,01a

Tabla 8. Resultados del análisis estadístico para el agua teórica de los panes elaborados con subproducto y harina de garbanzo.

Fórmula	Humedad
<i>Control</i>	0,37±0a
<i>CHU5</i>	0,38±0,01a
<i>CHU10</i>	0,37±0,01a
<i>CHU20</i>	0,37±0,01a
<i>G10+CHU5</i>	0,38±0a
<i>G10+CHU10</i>	0,38±0a
<i>G10+CHU20</i>	0,38±0a

Sin embargo, al introducir la harina de chía, sí se dieron diferencias significativas entre las tres formulaciones de chía y el control (Tabla 9), revelando que los valores de agua teórica de los panes que contienen chía son ligeramente superiores a los alcanzados en el control e iguales entre ellos. Este resultado fue ya observado en un estudio realizado por Verdú et al., 2015 en el

que elaboraron panes sólo con harina de trigo y chía, y evidenciaron cómo éstos retenían más agua que los elaborados con sólo harina de trigo. Según el estudio, ésta mayor capacidad para retener agua había que atribuírsela a la estructura generada por el mucílago (goma de polisacárido con alto peso molecular) de la chía y a su propiedad de fijar agua.

Tabla 9. Resultados del análisis estadístico para el agua teórica de los panes elaborados con subproducto y harina de chía.

Fórmula	Humedad
<i>Control</i>	<i>0,37±0,02a</i>
<i>CHU5</i>	<i>0,38±0,01ab</i>
<i>CHU10</i>	<i>0,37±0,01ab</i>
<i>CHU20</i>	<i>0,37±0,01ab</i>
<i>CHI5+CHU5</i>	<i>0,39±0,01c</i>
<i>CHI5+CHU10</i>	<i>0,39±0,03c</i>
<i>CHI5+CHU20</i>	<i>0,39±0,01c</i>

6.5. ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA

Los resultados obtenidos para los valores de actividad de agua de los panes con subproducto (Tabla 10), si bien mostraron diferencias significativas, éstos fueron muy similares. La presencia de una mayor o menor relación corteza/miga de las muestras podría ser la causa de estas diferencias significativas. En cambio, cuando se añadió, además del subproducto, las harinas de chía o garbanzo, los valores de actividad de agua fueron mayores.

Este resultado también fue observado por Verdú et al., 2015 para panes elaborados con chía donde mostraba que mientras incrementaban los días de almacenamiento, la reducción de actividad de agua fue menor y casi similar a la inicial, atribuyendo a la presencia del mucílago de aumentar el agua ligada en la masa de los panes.

Tabla 10. Resultados estadísticos de la determinación de actividad de agua de los panes.

Fórmulas	Actividad Agua
<i>Control</i>	<i>0,93±0 b</i>
<i>CHU5</i>	<i>0,94±0,01 b</i>
<i>CHU10</i>	<i>0,92±0 a</i>
<i>CHU20</i>	<i>0,95±0 bc</i>
<i>CHI5+CHU5</i>	<i>0,96±0 cd</i>
<i>CHI5+CHU10</i>	<i>0,96±0 cd</i>
<i>CHI5+CHU20</i>	<i>0,94±0 b</i>
<i>G10+CHU5</i>	<i>0,96±0 d</i>
<i>G10+CHU10</i>	<i>0,96±0 d</i>
<i>G10+CHU20</i>	<i>0,98±0 e</i>

6.6. ANÁLISIS DE TEXTURA

El análisis de textura (Tabla 11) mostró la gran dependencia a la incorporación de los subproductos, y de la harina de chíá y garbanzo. Así, cuando se incorporaron éstas se produjo un incremento en la dureza, gomosidad, masticabilidad y resiliencia. Sin embargo, la elasticidad y la cohesividad disminuyeron con el incremento de los subproductos y mejoradores (figura 12).

Los parámetros de gomosidad y masticabilidad están relacionados con la dureza. La dureza, gomosidad, masticabilidad y resiliencia, aumentan de forma significativa en comparación con los panes que carecían de los mejoradores de harina de chíá y garbanzo (figura 12), alejándose más aún del control, aunque en el caso de resiliencia para muestras con garbanzo los resultados son inferiores al control a pesar de no indicar diferencias significativas con este. La masticabilidad no evidenció diferencias tan acusadas con respecto a las muestras con subproducto y subproducto-harina de chíá, aun cuando las muestras con harina de chíá obtuvieron los resultados más pequeños. La incorporación de harina de chíá a los panes influyó más sobre los cambios texturales que cuando la sustitución se dio sólo con subproducto (para los mismos niveles totales de sustitución). Esto podría ser debido a que el grado de molienda de la harina de chíá fue menor y, por tanto, afectó más a la estructura del pan.

La figura 13 relaciona el comportamiento de los diferentes panes con la capacidad fermentativa, el volumen y la dureza. Se evidencia cómo incrementó la dureza al aumentar la cantidad de subproducto y los mejoradores, además de tener un comportamiento inversamente proporcional a la altura del pan y su volumen, donde estos dos últimos son proporcionales. Un ejemplo claro se observa en aquellas muestras con harina de garbanzo que tienen mayor dureza y menor capacidad fermentativa y volumen. Este comportamiento reflejaría la gran influencia que tiene la adición de fibra y la reducción de gluten sobre el comportamiento viscoelástico de las masas y, por consiguiente, sobre las características del producto (Verdú et al., 2015).

Resultados similares también fueron obtenidos por investigadores donde determinaron, en muestras de panes y productos panarios, que al sustituir harina de trigo por componentes como salvado, cascarillas, o material fibroso afecta las propiedades texturales, al incrementar la cantidad de fibra también incrementa la dureza (Sudha et al., 2007; Verdú et al., 2015; Verdú, Barat, & Grau, 2017), gomosidad y masticabilidad debido a que el gluten se desnaturaliza perdiendo su capacidad de retención de agua y adquiriendo rigidez al ser expuesto al calor.

A altas temperaturas y en presencia de agua, el almidón contenido en las masas se gelatiniza por lo que aumenta su capacidad de retención de agua, pero la fibra presente interrumpe la formación de la red de gluten afectando la retención de gas (Autio, 2006; Noort, van Haaster, Hemery, Schols, & Hamer, 2010) y consecuentemente al volumen, la estructura y textura. Inclusive, aunque el producto final contuviera más humedad, a más de lo expresado, las propiedades de la fibra y los niveles de fibra, incrementan la dureza o fuerza de compresión en el producto final, causando efecto también sobre la apariencia de color, densidad, y hasta en las evaluaciones sensoriales (textura, sabor, y apariencia) (Autio & Laurikainen, 1997; Ktenioudaki & Gallagher, 2012).

De forma contraria ocurre con los parámetros de elasticidad y cohesividad los cuales disminuyen significativamente al comparar con las formulaciones elaboradas únicamente con subproducto.

Tabla 11. Resultados estadísticos de la determinación de textura de los panes elaborados a base del subproducto, harina de chí y garbanzo.

Fórmulas	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
Control	1,78±0,45a	1,04±0,23e	0,9±0,02f	1,59±0,39a	1,58±0,15a	0,31±0,1a
CHU5	6,27±1,08b	0,3±0,04c	0,86±0,02e	5,37±0,89b	1,59±0,1a	1,01±0,18b
CHU10	6,87±1,09b	0,28±0,05c	0,84±0,02e	5,77±0,82b	1,61±0,1a	1,06±0,17b
CHU20	15,89±3,27cd	1,04±0,02ab	0,79±0,04d	12,56±3,09d	1,76±0,32a	1,82±0,27cd
CHI5+CHU5	13,75±2,28c	0,15±0,03b	0,67±0,02c	9,16±1,24c	1,31±0,11a	1,56±0,26c
CHI5+CHU10	18,11±1,84d	0,11±0,01ab	0,63±0,03c	11,47±1,03d	1,23±0,08a	1,94±0,22d
CHI5+CHU20	37,22±7,93e	0,06±0,02a	0,65±0,04c	24,02±4,18e	1,39±0,17a	3,49±0,77e
G10+CHU5	9,22±0,8b	0,81±0,08d	0,52±0,11b	4,79±0,82b	3,92±0,94b	0,19±0,06a
G10+CHU10	13,97±2,12c	0,73±0,04d	0,44±0,02a	6,18±0,82b	4,54±0,71b	0,16±0,01a
G10+CHU20	52,36±5,22f	0,74±0,06d	0,45±0,03a	23,67±3,42e	17,66±3,94c	0,17±0,02a

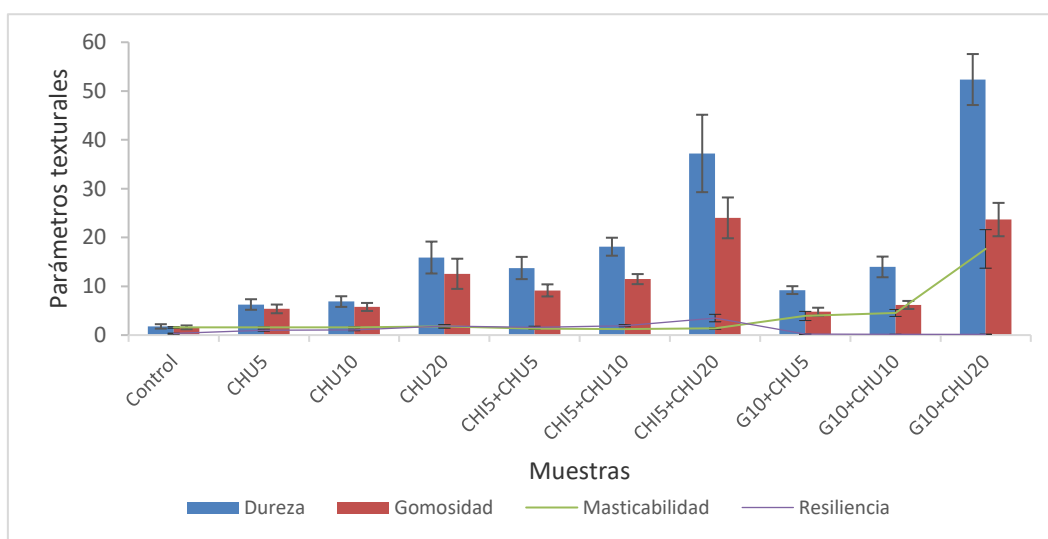


Figura 12. Resultados estadísticos de parámetros texturales de panes elaborados a base del subproducto de horchata de chufa y harinas de chí y garbanzo.

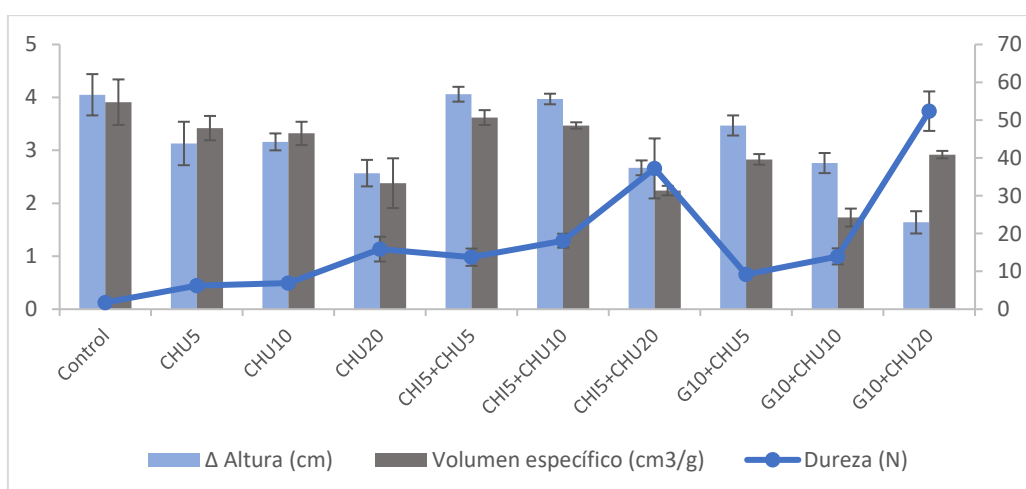


Figura 13. Relación de la capacidad fermentativa, volumen y dureza de panes elaborados a base del subproducto de horchata de chufa y harinas de chí y garbanzo.

6.7. EVALUACIÓN SENSORIAL

La figura 14 muestra un gráfico radial de los resultados de la evaluación sensorial realizado a los panes de las muestras control, subproducto de horchata de chufa al 5%, 10% y 20%, y mezcla subproducto (5% y 10%) -harina de chí a al 5%. La muestra con harina de chí a y subproducto al 20%, e incluso todas las muestras con harina de garbanzo, se descartaron en este análisis, debido a los valores variantes obtenidos en los parámetros antes estudiados. Los resultados estadísticos se detallan en la tabla 12.

Los catadores evaluaron con valores superiores a 5 todos los siete parámetros de las muestras, color, olor, textura al tacto, textura en boca, aspecto global, sabor y aceptación global. Las muestras con subproducto al 20% y mezcla de subproducto 10%-harina de chí a 5%, son las que obtuvieron menor valoración. Estos resultados determinaron diferencias significativas de desviación estándar entre las medias de datos en todos los parámetros evaluados, para la muestra con 20% de subproducto respecto al control. A pesar de estos resultados, se acudió al error estándar (5%) para facilitar el estudio, donde se evidencia (Tabla 12) diferencias significativas en las muestras con subproducto al 20% y mezcla de subproducto 10%-harina de chí a 5% respecto al control en todos los parámetros texturales. Las muestras mejor evaluadas fueron control y las que contienen subproducto de horchata de chufa al 5%.

Investigaciones indican que los niveles de aceptabilidad del consumidor respecto a variadas fibras agregadas en productos de panificación oscilan entre el 5 y 15% (Ainsworth, İbanođlu, Plunkett, İbanođlu, & Stojceska, 2007; Wang, Rosell, & Benedito de Barber, 2002), atribuyendo la dependencia a las propiedades del tipo de fibra, a parámetros de procesamiento tiempo y temperatura, que afectan las características sensoriales. También se indica que al sustituir harina de trigo por alto contenido de fibra no se han obtenido resultados favorables de aceptabilidad por los consumidores en apariencia, textura y sabor, aunque hay estudios que indican lo contrario al agregar mejorantes, enzimas o aditivos (Arufe et al., 2017; Katina, Salmenkallio-Marttila, Partanen, Forsell, & Autio, 2006), obteniendo mejoras en la red de gluten, reducción de retrogradación del almidón, y degradación de los componentes de la pared celular controlando el procesamiento. (Ktenioudaki & Gallagher, 2012; V. Stojceska, Poutanen, & Stojceska, 2013; Valentina Stojceska, 2011).

Tabla 12. Resultados estadísticos del análisis sensorial de los panes elaborados a base del subproducto, y mezcla subproducto - harina de chí a.

<i>Muestras</i>	<i>Color</i>	<i>Olor</i>	<i>Textura-tacto</i>	<i>Aspecto Global</i>	<i>Sabor</i>	<i>Textura-boca</i>	<i>Aceptación global</i>
<i>Control</i>	7,78±2,49bc	8,33±1,23b	8,24±1,22c	8,40±1,07c	8,35±1,18c	8,29±1,29c	8,36±1,33c
<i>CHU5</i>	8,07±0,99c	8,04±1,34ab	7,29±2,23bc	7,99±1,05c	7,73±1,55bc	7,83±1,47bc	7,87±1,45bc
<i>CH15+CHU5</i>	7,29±1,73abc	7,68±1,25ab	7,17±1,67bc	7,77±1,16c	6,6±2,32ab	6,9±2,17ab	6,61±2,04ab
<i>CHU10</i>	7,73±1,67bc	8,34±0,72b	7,03±1,5abc	7,53±1,42bc	6,45±2,07ab	6,57±1,98ab	6,49±2,24ab
<i>CH15+CHU10</i>	6,46±2,66ab	7,49±1,4ab	6,54±2,06ab	6,56±2,40ab	5,88±2,2a	6,51±1,87ab	5,98±2,38a
<i>CHU20</i>	6,27±2,26a	7,13±2,32a	5,84±1,8a	5,98±2,12a	5,46±2,51a	5,76±2,34a	5,59±2,42a

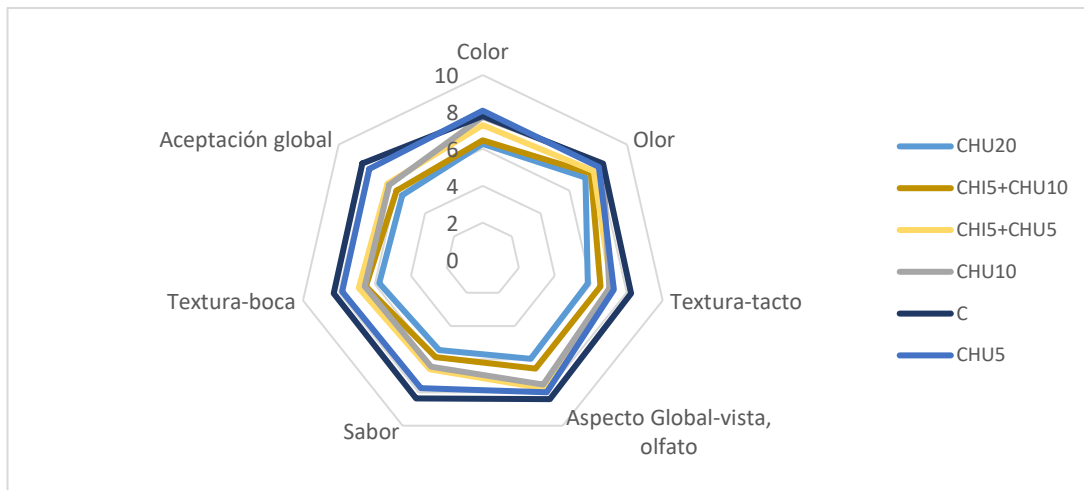


Figura 14. Análisis sensorial de panes elaborados con harina de trigo puro, subproducto de horchata de chufa (5%, 10%, 20%) y mezcla subproducto (5%, 10%)-mejorador harina de chía (5%)

7. CONCLUSIONES

El subproducto de la horchata de chufa causó modificaciones importantes en el comportamiento de la masa y las propiedades del pan. La inclusión redujo el desarrollo de la masa en la fase de fermentación debido a la interrupción de la red óptima de gluten. La consecuencia de este efecto fue una reducción significativa en los volúmenes específicos de pan, una similar pérdida de peso durante el horneado, aunque con un incremento en la dureza de este.

La inclusión de la harina tostada de garbanzo si bien mejora ligeramente el proceso de fermentación, incrementando la altura de los panes con un nivel de sustitución de la harina de trigo por subproducto del 5%, no llega a los niveles del pan elaborado solo con harina de trigo, generando panes en general con menor volumen específico y con una mayor dureza que el control y los elaborados con la sustitución de subproducto.

La incorporación de harina de chía implica una mejora de la capacidad fermentativa gracias al mucilago que la conforma y que minimiza el efecto negativo de la fibra procedente del subproducto, llegando a ser esta similar a la de masas con solo harina de trigo. Pero el incremento de la fibra, que supone su adición, produce cambios en los parámetros texturales haciendo que incremente la dureza.

Estos cambios, junto con los de color y sabor, apreciados por los consumidores en los análisis sensoriales, desestiman la utilización de la harina de chía en el procesado de panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de subproducto, la cual a un nivel de sustitución del 5% (suficiente para que el pan sea etiquetado como fuente de fibra) ha dado panes similares, para el consumidor, al de pan elaborado solo con harina de trigo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ainsworth, P., İbanođlu, Ş., Plunkett, A., İbanođlu, E., & Stojceska, V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, *81*(4), 702–709. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
- Arufe, S., Chiron, H., Doré, J., Savary-Auzeloux, I., Saulnier, L., & Della Valle, G. (2017). Processing & rheological properties of wheat flour dough and bread containing high levels of soluble dietary fibres blends. *Food Research International*, *97*, 123–132. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.03.040>
- Autio, K. (2006). Effects of cell wall components on the functionality of wheat gluten. *Biotechnology Advances*, *24*(6), 633–635. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2006.07.002>
- Autio, K., & Laurikainen, T. (1997). Relationships between flour/dough microstructure and dough handling and baking properties. *Trends in Food Science & Technology*, *8*(6), 181–185. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01039-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01039-X)
- Bortnowska, G., Krudos, A., Schube, V., Krawczyńska, W., Krzemińska, N., & Mojka, K. (2016). Effects of waxy rice and tapioca starches on the physicochemical and sensory properties of white sauces enriched with functional fibre. *Food Chemistry*, *202*, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.077>
- Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. H. (2010). Comparison of the functional properties of pea , chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, *43*(2), 537–546. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.021>
- Coelho, M. S., & Salas-Mellado, M. de las M. (2015). Effects of substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *LWT - Food Science and Technology*, *60*(2). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.033>
- Elena, S., & Fern, J. (2012). Tiger Nut (*Cyperus esculentus*) Commercialization : Health Aspects , Composition , Properties , and Food Applications, *11*, 366–377. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00190.x>
- Karaog, M. M. (2006). Original article Effect of baking procedure and storage on the pasting properties and staling of part-baked and rebaked wheat bran bread, *41*(Supplement 2), 77–82. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01407.x>
- Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P., & Autio, K. (2006). Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT - Food Science and Technology*, *39*(5), 479–491. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2005.03.013>
- Ktenioudaki, A., & Gallagher, E. (2012). Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends in Food Science and Technology*, *28*(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.004>
- Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., & Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, *43*(2), 650–658. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.016>

- Miñarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamis, B., & Capellas, M. (2012). Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 476–481. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.012>
- Noort, M. W. J., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H. A., & Hamer, R. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality - Evidence for fibre-protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 52(1), 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.003>
- Optimisation, A. H. (2012). Optimisation of time / temperature treatment , for heat treated soft wheat flour. *JOURNAL OF FOOD ENGINEERING*, 113, 422–426. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.019>
- Polite, E. (2009). Preparation of Dietary Fiber Powder from Tiger Nut (*Cyperus esculentus*) Milk (“ Horchata ”) Byproducts and Its Physicochemical Properties, 7719–7725. <https://doi.org/10.1021/jf901687r>
- Preston, K. R., & Dexter, J. E. (1994). of flour.
- Puig, E. I. (n.d.). PRODUCTOS DE PANADERÍA POR INCORPORACIÓN DE INGREDIENTES A BASE DE CHÍA (*Salvia hispanica* L .) PRODUCTOS DE PANADERÍA POR INCORPORACIÓN DE INGREDIENTES A BASE DE CHÍA (*Salvia hispanica* L .), 0–21.
- Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75–81. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00054-0)
- State, O. (2009). Some physicochemical properties of flour obtained from fermentation of tigernut (*Cyperus esculentus*) sourced from a market in Ogbomoso , Nigeria, 3(2), 51–55.
- Stojceska, V. (2011). *Dietary Fiber From Brewer’s Spent Grain as a Functional Ingredient in Bread Making Technology. Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10016-9>
- Stojceska, V., Poutanen, K., & Stojceska, V. (2013). Fibre-enriched snack foods. In *Fibre-Rich and Wholegrain Foods* (pp. 389–406). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857095787.4.389>
- Sudha, M. L., Vetrmani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100(4), 1365–1370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.013>
- The Phytochemical Composition and Some Biochemical Effects of Nigerian Tigernut (*Cyperus esculentus* L .) Tuber. (2010), (July). <https://doi.org/10.3923/pjn.2010.709.715>
- Verdú, S., Barat, J. M., & Grau, R. (2017). Improving bread-making processing phases of fibre-rich formulas using chia (*Salvia hispanica*) seed flour. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.007>
- Verdú, S., Vázquez, F., Ivorra, E., Sánchez, A. J., Barat, J. M., & Grau, R. (2015). Physicochemical effects of chia (*Salvia hispanica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science*, 65, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.011>
- Verdú, S., Vázquez, F., Ivorra, E., Sánchez, A. J., Barat, J. M., & Grau, R. (2017). Hyperspectral image control of the heat-treatment process of oat flour to model composite bread

properties. *Journal of Food Engineering*, 192, 45–52.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.07.017>

Wang, J., Rosell, C. M., & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79(2), 221–226.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8)