



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

**MEJORA DEL VALOR NUTRICIONAL Y TECNOLÓGICO DE
PRODUCTOS DE PANADERÍA POR INCORPORACIÓN DE
INGREDIENTES A BASE DE CHÍA (*Salvia hispanica L.*)**

MASTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

Autora:
Esther Iglesias Puig

Directora:
Dra. Mónica Haros

Tutor:
Javier Martínez Monzó

Universidad Politécnica de Valencia

MEJORA DEL VALOR NUTRICIONAL Y TECNOLÓGICO DE PRODUCTOS DE PANADERÍA POR INCORPORACIÓN DE INGREDIENTES A BASE DE CHÍA (*Salvia hispanica L.*)

E. Iglesias, M. Haros.

RESUMEN

La Chía (*Salvia hispanica L.*) es una planta herbácea anual perteneciente a la familia de las *Labiatae*. Estas semillas fueron cultivadas durante muchos siglos por los Indios Aztecas. Actualmente es consumida frecuentemente en varios países, tales como USA, Canadá y Australia, además de los países Latino Americanos, mientras que en Europa es prácticamente desconocida. Los alimentos con chía o con sus subproductos más comúnmente comercializados o consumidos en el mundo son: la propia semilla, aceite de chía, aceite de chía en cápsulas, barritas con chía, cereales de desayuno, galletas, chips, como suplemento nutricional y panes. Debido a la opinión emitida por la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria acerca de la seguridad de la chía como ingrediente alimentario en la Unión Europea, las semillas de chía y las semillas de chía trituradas pueden ser comercializadas en el mercado de la Comunidad como nuevo ingrediente alimentario para su uso en productos de panadería, con un contenido máximo de 5% de semillas de chía. Por tanto, el propósito del presente trabajo fue proporcionar información sobre cómo el reemplazo de harina de trigo por semillas de chía o sus derivados hasta un 5% afecta la calidad del pan, aceptación global de los consumidores, y para evaluar su funcionalidad como ingredientes nutritivos. Los ingredientes de chía (semillas de chía, harina integral, harina semi-desgrasada y harina parcialmente desgrasada) se añadieron en la formulación de masas panarias para evaluar las características de amasado/sobreamasado y las propiedades térmicas. La calidad del pan se evaluó mediante los siguientes parámetros: volumen específico, aspecto de la rebanada central, perfil de textura de la miga, análisis digital de imagen de la miga, color de la miga y de la corteza, humedad, lípidos, proteínas, cenizas, fibra dietética, cinética de retrogradación de amilopectina por calorímetro diferencial de barrido y evaluación sensorial mediante escala hedónica. Las muestras con chía aumentaron significativamente los niveles de proteínas, lípidos, cenizas y fibra dietética en el producto final en comparación con el pan control. En general, las muestras con chía mostraron mayor calidad nutricional, tecnológica y sensorial que el pan control. La inclusión de chía no modificó las propiedades de amasado a excepción de la absorción de agua. Sin embargo, el volumen de la pieza panaria, color de la miga y la cinética de retrogradación de la amilopectina mostraron diferencias significativas en comparación a la muestra control.

PALABRAS CLAVE: Chía (*Salvia hispanica L.*), pan, calidad nutricional, minerales, fitatos, propiedades de amasado, evaluación sensorial, DSC, propiedades térmicas, retrogradación de la amilopectina.

RESUM

La Chía (*Salvia hispanica* L.) és una planta herbàcia anual de la família de les Labiatae. Aquestes llavors van ser cultivades durant molts segles pels Indis Asteques. Actualment és consumida freqüentment en diversos països, inclosos EUA, Canadà i Austràlia, a més dels països Llatí Americans, mentre que a Europa és pràcticament desconeguda. Els aliments amb chía o amb els seus subproductes més comúment comercialitzats o consumits en el món són: la pròpia llavor, oli de chía, oli de chía en càpsules, barretes amb chía, cereals d'esmorzar, galetes, xips, com a suplement nutricional i pans. A causa de l'opinió emesa per l'Agència Europea de Seguretat Alimentària sobre la seguretat de la chía com a ingredient alimentari a la Unió Europea, les llavors de chía i llavors de chía triturades poden ser comercialitzades en el mercat de la Comunitat com a nou ingredient alimentari pel seu ús en productes de forneria, amb un contingut màxim de 5% de llavors de chía. Per tant, el propòsit d'aquest treball va ser proporcionar informació sobre com el reemplaçament de farina de blat per llavors de chía i els seus derivats en un nivell del 5% afecta el rendiment del pa, acceptació global dels consumidors, i per avaluar la seva funcionalitat com ingredients nutritius. Els ingredients de chía (llavors de chía, farina integral, farina de chía, chía semi-desgreixada i farina de chía parcialment desgreixada) es van afegir en un nivell del 5% a la formulació del pa en base farina per avaluar les característiques de amassat/sobreamassat i les propietats tèrmiques. La qualitat del pa es va avaluar mitjançant els següents paràmetres: volum específic, aspecte de la llesca central, perfil de textura de molla, anàlisi digital d'imatge de la molla, color de la molla i de la crosta, humitat, lípids, proteïnes, cendres, fibra dietètica, cinètica de la retrogradació de l'amilopectina per calorímetre diferencial de rastreig i avaluació sensorial mitjançant escala hedònica. Les mostres amb chía van augmentar significativament els nivells de proteïnes, lípids, cendres i fibra dietètica en el producte final en comparació amb el pa control. En general, les mostres amb chía van mostrar major qualitat nutricional, tecnològica i sensorial que el pa control. La inclusió de chía no va modificar les propietats de l'amassat a excepció de l'absorció d'aigua. No obstant, el volum de la peça panaria, color de la molla i la cinètica de retrogradació de l'amilopectina van mostrar diferències significatives en comparació a la mostra control.

PALABRAS CLAVE: Chía (*Salvia hispanica* L.), pan, calidad nutricional, minerales, fitatos, propiedades del amasado, evaluación sensorial, DSC, propiedades térmicas, retrogradación de la amilopectina.

ABSTRACT

Chia (*Salvia hispanica* L.) is an annual summer herb, and a member of the *Labiatae* family. The seeds have been cultivated for several centuries by Aztec Indians. At present it is commonly consumed in several countries, including the USA, Canada and Australia, besides in Latin American countries, whereas is practically not known in Europe. Foods with chia or its by-products commonly marketed or consumed in the world are: the seed itself, oil soft gel caps, chia oil, chia bars, cereal breakfast, cookies, cereal bars, chips, as nutritional supplement, and breads. Due the European Food Safety Authority opinion about the safety of chia as a food ingredient, in European Union, chia seed and grounded chia seed may be placed on the market in the Community as a novel food ingredient to be used in bread products with a maximum content of 5% chia seeds. Therefore the purpose of the present work was to provide further information on how replacing wheat flour by chia seeds or their by-products at 5% level affects the bread performance, overall acceptance by consumers, and to assess their functionality as nutritious ingredients. The chia ingredients (chia seeds, whole chia flour, chia flour semi-defatted and chia flour partially defatted) were added at 5% level to bread dough formula in flour basis evaluating the mixing/overmixing characteristics and thermal properties. The bread quality was evaluated by the following parameters: specific volume, slice shape, crumb texture profile, crumb digital image analysis, crumb and crust colour, moisture, lipids, proteins, ash, dietary fibre, kinetic of amylopectin retrogradation by differential scanning calorimeter, and sensory evaluation by hedonic scale. The samples with chia significantly increased the levels of proteins, lipids, ash and dietary fibre in the final product comparing to control sample. In general, the samples with chia showed higher nutritional, technological and sensory quality than the control bread. The inclusion of chia did not modify the dough mixing, with the exception of water absorption. However, the bread volume, crumb colour and the kinetic of amylopectin retrogradation showed significant differences in comparison to the control sample.

KEYWORDS: Chía (*Salvia hispanica* L.), bread, nutritional quality, minerals, phytates, mixing properties, sensory evaluation, DSC, thermal properties, amylopectin retrogradation.

INTRODUCCIÓN

La Chía (*Salvia hispanica* L.) es una planta herbácea anual perteneciente a la familia de las *Labiatae* que se cultiva en climas tropicales y subtropicales, sin grandes requerimientos de agua (Cahill, 2003). Su cultivo se remonta al año 2600 a.C. por los antiguos pueblos asentados en lo que actualmente es el territorio de México y Guatemala. Fueron descritas como el elemento principal de la dieta de las civilizaciones precolombinas, principalmente en el caso de los aztecas, junto con el maíz, el amaranto y las alubias (Olivos Lugo et al., 2009). En estas civilizaciones la chía fue usada con fines alimenticios además de emplearlas con fines medicinales, artísticos y religiosos siendo ofrendadas a los dioses (Cahill, 2003; Ixtaina et al., 2008). Por esta razón, en el siglo XVI durante la época de la conquista, este cultivo se vió interrumpido, siendo prohibido hasta casi su extinción por considerarla una semilla sacrílega (Solis Fuente, 2006). La chía se tostaba y molía obteniendo el “*pinole*” que se podía utilizar en preparaciones pasteleras o tras hidratarla como gachas. Actualmente se consume como bebida refrescante con zumos de frutas (Ixtaina et al., 2008; EFSA, 2009). Hoy en día, la chía se cultivada en México, Bolivia, Argentina, Ecuador y Guatemala con fines comerciales. Se consume en el sudoeste de los Estados Unidos, México y en menor extensión en Sudamérica, mientras que en Europa es prácticamente desconocida (Ixtaina et al., 2008).

En la actualidad y después de numerosos estudios se han revelado las notables propiedades nutricionales de esta pequeña semilla, por lo que se recomienda su consumo debido a su alto contenido en aceite, proteínas, antioxidantes, minerales y fibra dietética (Ixtaina et al., 2008). La semilla posee 25-38% de aceite, el cual contiene un alto contenido de ácidos grasos omega-3 y omega-6 (principalmente ácido linolénico 50-67% y ácido linoleico 17-27%, respectivamente) en equilibrio adecuado, siendo una de las principales fuentes vegetales (Ayerza, 1995; Ayerza, 2010). Además, la chía contiene una alta proporción de compuestos antioxidantes (flavonoides, tocoferol, beta-caroteno), por lo que evita la rancidez de los ácidos grasos insaturados en los alimentos que la contiene (Reyes-Caudillo et al., 2008). El consumo de alimentos con alto contenido de omega-3 conduce a reducir el colesterol en sangre y por tanto disminuye el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Por otro lado, la chía es fuente de minerales tales como el calcio, fósforo, hierro y magnesio.

Uno de los aspectos más importantes de estas semillas es su alto contenido en fibra (18-30%), su consumo conlleva importantes beneficios como la regulación del tránsito intestinal, disminución del índice de glucemia, y su correspondiente respuesta insulínica, entre otros (Reyes-Caudillo et al., 2008). Esta fibra contiene mucílagos, los cuales absorben cantidades elevadas de agua influyendo en el correcto funcionamiento intestinal (Figura 1). Como es sabido, el bajo consumo de fibra dietética ha sido asociado con enfermedades tales como la aterosclerosis, estreñimiento, cáncer de colon, obesidad, diabetes tipo-2 y enfermedades coronarias, siendo estas dos últimas, en gran porcentaje de casos, precedidas por el síndrome metabólico (Escudero Álvarez y González Sánchez, 2006). El síndrome metabólico (o síndrome X) es el conjunto de alteraciones metabólicas y cardiovasculares que están relacionadas con la resistencia a la insulina o hiperglucemia, obesidad abdominal, alteración en los niveles normales de lípidos

plasmáticos (fundamentalmente colesterol y triglicéridos); y los no metabólicos, hipertensión arterial, trastornos inflamatorios y protrombóticos (Muñoz Calvo, 2007).

Todas estas características hacen que la chía sea un ingrediente interesante para el enriquecimiento de ciertos alimentos como ya sucede en numerosos países como USA, Canadá y Australia además de los países latino americanos mientras que en Europa es prácticamente desconocida. Los productos más comunes son: las propias semillas, cápsulas de aceite de chía, pan con chía, cereales de desayuno, galletas, barras de cereales, como suplemento nutricional.

Considerando los extensos estudios en torno a las características nutricionales de la chía la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria emitió dictamen sobre la inocuidad de las semillas enteras y trituradas como ingredientes alimentarios (EFSA, 2009). Posteriormente se autorizó su comercialización en el mercado comunitario para ser utilizadas como ingrediente en productos de panadería con un contenido máximo del 5% (DOUE, 2009).

Acorde con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud sobre el consumo de pan (250g de pan/persona), la incorporación de chía en un 5% en panes significaría un consumo del 12,5 g/persona/día. No obstante, el consumo medio de pan en la Unión Europea es de 180 g/persona/día incluyendo en esta estimación 17 países, siendo los de mayor ingesta Bulgaria, República Checa y Alemania y los de menor ingesta Finlandia, Reino Unido, Noruega y Suecia según Market Reports of Association Internationale de la Boulangerie Industrielle (AIAB, 2007). Por lo tanto, teniendo en cuenta el consumo medio europeo se puede estimar una ingesta de chía de 9 g/persona/día.

Las tendencias actuales muestran un gran interés por productos saludables significando el desarrollo de una gran variedad de productos de panadería con propiedades beneficiosas como panes con semillas, con alto contenido en fibra, probióticos, prebióticos, ácidos grasos omega-3, y cereales integrales incrementando sus ventas en los últimos años. Otra tendencia actual es la reducción del porcentaje de sal en la dieta. Esta reducción ha llegado a ser una prioridad para la industria de la panificación, ya que los productos a base de pan y cereales contribuyen sustancialmente al consumo diario de sal (NAOS, 2010).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue proporcionar mayor información sobre cómo puede afectar la inclusión de semillas de chía o ingredientes a base de chía hasta un 5% en formulaciones de pan sobre las propiedades de amasado/sobreamasado, las propiedades térmicas, la calidad tecnológica y nutricional de los productos desarrollados, la aceptabilidad de los consumidores, para evaluar su funcionalidad como ingrediente panario.



FIGURA 1. Efecto de la hidratación y posterior liofilización en semillas de chía

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para este estudio se utilizó harina de trigo comercial, semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y harinas de chia integral, semi desgrasada y parcialmente desgrasada que fueron obtenidas en el mercado local (Chiasa, S.A., Valencia, España).

Para el desarrollo de las masas se utilizó levadura prensada comercial (*Saccharomyces cerevisiae*, Levamax, España), sal común, agua potable y ácido ascórbico.

Métodos

PROCESO DE PANIFICACIÓN

Se realizaron 5 formulaciones diferentes para el desarrollo de este estudio: pan control, pan con 5% de semillas de chíá, pan con 5% de harina integral de chíá, pan con 5% de harina semi desgrasada de chíá y pan con 5% de harina parcialmente desgrasada de chíá.

Para la elaboración del pan control se utilizó la siguiente formulación en base harina (600 g): harina de trigo 100%; sal 1,6%; levadura panaria comercial 5%; agua 57,25% (correspondiente a 500 UB en farinógrafo); y ácido ascórbico 0,01%. En el resto de las formulaciones se suplió un 5% de la harina por el ingrediente correspondiente teniendo en cuenta la absorción de agua, según datos farinográficos, para alcanzar la misma consistencia de la masa control (Anexo I).

Las panificaciones se efectuaron mediante el método esponja, fermentando la mitad de la harina de trigo (300 g) con la mitad del agua y toda la levadura a una temperatura de 4°C durante 24 horas. Pasado este tiempo la esponja obtenida se mezcló con el resto de ingredientes, amasándose durante 3-4 minutos según la formulación (Anexo I). La masa se dejó reposar durante 10 minutos para su fermentación en bloque. Transcurrido el reposo, la masa se dividió en piezas de 100g otorgándoles forma esférica por medio de una boleadora (Brabender, Alemania) para obtener uniformidad. A continuación, se dejó nuevamente en reposo durante 15 minutos a temperatura ambiente para que la masa recuperara su flexibilidad y maquinabilidad. La fermentación en tablas se llevó a cabo en una cámara de fermentación a temperatura y humedad relativa controlada (Infrisa, España), durante el tiempo necesario, previamente optimizado para cada formulación, monitoreando a intervalos regulares de tiempo la temperatura de la masa, el incremento de volumen y la variación de pH (Anexo I). Finalizado el periodo de fermentación, las piezas se hornearon en horno eléctrico (Eurofours.59144 Gommegnies. Francia), durante 18-23 minutos a 170-190 °C según formulación (Anexo I). Finalmente, los panes fueron enfriados a temperatura ambiente durante una hora para su posterior análisis. Los experimentos fueron realizados por duplicado.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FARINOGRÁFICAS

Se evaluaron las propiedades de la masa mediante un Farinógrafo (Brabender, Duisburg, Germany) siguiendo el método oficial estándar con ligeras modificaciones (AACC, 1995). Se utilizaron 300 g de cada formulación que fueron amasados en el farinógrafo termostatado a 30°C hasta obtener 500 Unidades Brabender (UB). Se determinaron los siguientes parámetros: absorción de agua (porcentaje de agua requerida para dar consistencia a la masa de 500 UB); tiempo de llegada (tiempo que tarda la masa en llegar a una consistencia de 500 UB); tiempo de desarrollo de la masa (tiempo transcurrido desde la adición de agua hasta el desarrollo de la consistencia máxima); estabilidad (tiempo que se mantiene la masa con una consistencia de 500 UB); tiempo de salida (tiempo que tarda la masa en disminuir de 500 UB su consistencia); tiempo de caída (tiempo transcurrido desde el inicio de la mezcla hasta un descenso de 30 UB desde el pico de consistencia máxima) e índice de tolerancia al amasado (diferencia de consistencia en UB entre el pico de mayor consistencia hasta pasados 5 min).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTO TERMINADO

La determinación de la composición química consistió en el contenido de cenizas por ignición en mufla a 910°C (ICC, 1990), humedad (Método 44-15A de la AACC, 1995), proteínas por el método semimicro de Kjeldhal (AACC 46-13, 1983), contenido en fibra dietética de las materias primas mediante AOAC 985.29 y AOAC 991,43 (1991) para los panes, y fosfatos de *myo*-inositol mediante cromatografía líquida de alta resolución siguiendo el método descrito por Türk y Sandberg (1992) y más tarde modificado por Sanz Penella et al. (2008). Previo a la determinación de minerales (Fe, Ca y Zn) se realizó una digestión ácida de las muestras con ácido nítrico concentrado y agua oxigenada (30%) en relación 1:4 en horno de microondas (Mars X, Cempor, USA,) mediante un ciclo de calentamiento hasta 180°C durante 15 minutos y posterior enfriamiento durante 15 minutos. La disolución digerida se llevó a 10,0 ml con HCl 5% (v/v). Las muestras líquidas fueron analizadas por espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. Los ensayos se realizaron por triplicado

CALIDAD DEL PAN FRESCO

Los parámetros tecnológicos analizados fueron volumen específico de la pieza panaria (cm^3/g) (panvolumenómetro, Chopin, Francia), relación ancho/alto de la rebanada central (cm/cm), y análisis del perfil de textura (TPA), determinado por un texturómetro TA-XT plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), los ensayos se realizaron al menos por triplicado. La estructura de la miga se estudió por análisis digital de imagen escaneando previamente la rebanada central de los panes con una resolución de 240 píxeles por centímetro (HP ScanJet 4400C, Hewlett Packard, USA) mediante el programa HP PrecisianScan Pro 3.1. Se seleccionaron cuadrados de 10 mm x 10 mm que fueron analizados con el programa Sigma Scan Pro Image (versión 5.0.0, SPSS Inc., USA). Los parámetros evaluados fueron: área alveolar/área total, (cm^2/cm^2); área de la pared alveolar/área total, (cm^2/cm^2); número

alveolos/cm²; y área media alveolar, (μm^2). Se realizaron tres repeticiones por muestra.

El análisis del color de la corteza y la miga de pan se determinó por medio de un colorímetro (CR-400, Konika Minolta Sensing, Japón). El instrumento fue calibrado utilizando el iluminante C (luz del sol directo al medio día con un cielo claro) y estándar blanco, y un observador de 10°. Los parámetros evaluados pertenecen al espacio cromático CIE Lab, el cual es un sistema uniforme en el que se definen tres coordenadas: L*, luminosidad (varía de 0 a 100); a*, representa la variación de rojo a verde; b*, representa la variación de amarillo a azul. A partir de los valores de L*(luminosidad), a* y b*, se calcularon las coordenadas psicométricas tono (h^*_{ab}) y croma (C^*_{ab}) (Gilbert, 2002). Asimismo, se estimaron las diferencias de color (ΔE) provocadas por las diferentes formulaciones. 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.

Las propiedades térmicas del almidón (gelatinización y retrogradación) se analizaron en un calorímetro diferencial de barrido (DSC7 de Perkin-Elmer) usado para simular el proceso de cocción de la masa fermentada en el horno, empleando cápsulas de acero inoxidable herméticas (LVC 0319-0218, Perkin Elmer). El equipo fue calibrado con indio y cinc, utilizando una cápsula vacía como referencia. El perfil de temperaturas para simular el horneado en el centro de la miga del pan fue: una isoterma a 30°C durante un minuto, calentamiento desde 30° a 100°C a una velocidad de 10°C/min, isoterma de 5 min a 100°C y enfriamiento desde 100 a 30°C a 50°C/min. Para la determinación de la cinética de retrogradación de los panes se almacenaron las muestras a 20°C durante 0, 2, 3, 5, 7 y 14 días, sometiéndose tras el almacenamiento a un ciclo de calentamiento desde 30 a 130°C a una velocidad de 10°C/min. Los parámetros evaluados fueron: temperatura inicial, temperatura de pico, temperatura final y su entalpía de gelatinización, o retrogradación en J/g de masa, representada por el area debajo de la curva.

ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial de los productos de panadería desarrollados se llevó a cabo con la participación de 50 catadores, no entrenados y voluntarios, quienes usualmente son consumidores de pan. La aceptabilidad de los consumidores se evaluó mediante una escala hedónica de 9 puntos donde se reflejaba el grado de aceptación general del producto (9. me gusta muchísimo, 8. me gusta mucho, 7. me gusta moderadamente, 6. me gusta un poco, 5. ni me gusta ni me disgusta, 4. me disgusta un poco, 3. me disgusta moderadamente, 2. me disgusta mucho y 1. me disgusta muchísimo).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se analizaron estadísticamente por comparación múltiple en el programa Statgraphics Plus 7.1 por medio de la prueba de Fisher para establecer diferencias significativas mínimas entre muestras (LSD) a un nivel de significación de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química de materias primas y pan

La composición química de las materias primas utilizadas en esta investigación se muestra en la Tabla 1. La humedad de la semilla de chía y sus derivados se encuentra entre 3,85-6,41%, significativamente inferior a la de la harina de trigo. Tanto la semilla como su harina integral muestran grandes cantidades de lípidos (32,5 – 33,9% b.s.). Según la literatura el contenido lipídico de las semillas de chía se encuentra entre 25 y 39%, de los cuales un 60-70% son ácidos grasos omega-3 (Peiretti y Gai, 2009). La muestras comerciales semi desgrasada y parcialmente desgrasada muestran una clara reducción lipídica (56 y 80%, respectivamente). Esto significa un incremento del resto de fracciones de proteínas, cenizas, y fibra dietética (Tabla 1). Excepto la humedad, los contenidos en lípidos, proteínas, minerales y fibra dietética son significativamente superiores en chía respecto a la harina de trigo. El contenido en carbohidratos disminuye en el caso de los productos de chía respecto al caso de la harina de trigo debido a que se trata de una oleaginosa.

Tabla 1. Composición química de materias primas y panes obtenidos en este estudio expresados en base seca ⁽¹⁾

Muestra	Humedad ⁽²⁾	Lípidos ⁽³⁾	Proteínas ⁽⁴⁾	Cenizas ⁽⁵⁾	Fibra dietética ⁽⁶⁾
	%	%	%	%	%
WF	14,3 e	0,79 a	10,1 a	0,64 a	5,3 a
ChS	3,9 a	33,9 c	20,2 b	2,03 b	30,9 b
ChF	6,4 d	32,5 bc	20,0 b	2,19 b	36,2 b
ChSD	4,3 b	18,6 ab	22,5 c	3,53 c	34,3 b
ChPD	4,8 c	6,8 a	23,5 c	4,90 d	38,4 b
CB	34,8 a	0,25 a	16,1 a	1,99 a	5,0 a
ChSB	33,7 a	2,11 d	16,9 ab	2,47 b	6,8 b
ChFB	33,9 a	2,21 c	17,1 b	2,40 b	6,3 b
ChSDB	36,0 a	0,91 bc	16,9 b	2,51 b	7,0 b
ChPDB	35,7 a	0,57 ab	17,2 b	2,42 b	7,1 b

⁽¹⁾ Media, n=3. Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%. El análisis estadístico de los resultados de las materias primas se ha realizado independientemente de los resultados del pan. Harina de trigo (WF), Semillas de chía (ChS), Harina de Chía (ChF), Harina semi desgrasada de chía (ChSD), Harina parcialmente desgrasada de chía (ChPD), Pan Control (CB), Pan con 5% de semillas de chía (ChSB), Pan con 5% de harina de chía (ChFB), Pan con 5% de harina de chía semi desgrasada (ChSDB), Pan con 5% de harina de chía parcialmente desgrasada (ChPDB). ⁽²⁾Humedad en base húmeda, ⁽³⁾ Método Soxhlet (AACC, 1967); ⁽⁴⁾Método Kjeldahl, f: 5,70 (AACC 46-13, 1983); ⁽⁵⁾Por calcinación a 910°C (ICC 104/1, 1990); ⁽⁶⁾ Método enzimático de la AOAC 991,43 y AOAC 985.29, (1991)

La inclusión de 5% de cualquiera de los ingredientes de chía a formulaciones de pan incrementa significativamente el contenido de proteínas, lípidos, cenizas y el contenido en fibra dietética.

Los productos con semillas o con harina integral de chía mostraron valores menores de humedad, aunque la tendencia es no significativa, mostrando un efecto contrario en las muestras con harinas semi y parcialmente desgrasada. Esta tendencia podría ser debida a la incorporación de fibras insolubles de chía, concretamente, al alto contenido en mucílagos. En cuanto al contenido en minerales se observó un incremento significativo debido al reemplazo de la harina de trigo (cenizas: 1,99 %) por los productos de chía (cenizas entre 2,40-2,51%).

Efecto de la inclusión de chía y subproductos sobre el contenido en minerales y predicción de su biodisponibilidad

Puesto que uno de los objetivos de este estudio es la mejora nutricional se han analizado los minerales de las materias primas y panes así como el aporte de fitatos de cada uno de estos ingredientes (Tabla 2). Como se puede observar, los ingredientes de chía poseen un alto contenido en minerales ya que las concentraciones de hierro, calcio y cinc son notablemente superiores en comparación a la harina de trigo. El mineral predominante y que muestra la mayor proporción respecto al trigo es el calcio. Es significativamente mayor en los ingredientes de chía y especialmente en el caso de las harinas desgrasadas llegando a valores hasta 10 veces superiores. En los panes se observa un incremento del contenido de calcio pero no es significativo. En cuanto al hierro también se aprecia un incremento significativo en las muestras de chía siendo entre 6 y 8 veces superior que en la harina de trigo, mostrando los panes diferencias significativas respecto al pan control. El contenido en cinc se presentó entre 4 y 5 veces superior en los ingredientes de chía en comparación a la harina de trigo, sin embargo los productos terminados muestran la tendencia respecto al control pero no es significativa.

En cuanto al contenido de hexakisfosfato de *myo*-inositol o fitato también es significativamente superior en los ingredientes de chía. Se encuentra entre valores de 5,10 y 6,63 $\mu\text{mol/g}$ b.s., aproximadamente 10 veces superior que la harina de trigo. Tras la panificación los fitatos disminuyen por acción de la fitasa endógena del cereal hasta valores entre 0,75 y 1,24 $\mu\text{mol/g}$ b.s. en los panes con productos de chía degradándose a compuestos de menor grado de fosforilación, siendo no detectable en el caso del pan control.

Para predecir la biodisponibilidad mineral en humanos tras la ingesta de productos con fitatos se han definido valores límite de las relaciones molares fitatos/minerales. El valor umbral por el cual comenzará la inhibición de la absorción de hierro se definió hasta un ratio molar de 1,0 (Ma et al, 2005; Hurrell, 2004). Por lo tanto, como se observa en la Tabla 2, en todos los panes con chía este mineral no se encontraría totalmente biodisponible puesto que las ratios se encuentran en valores superiores al umbral. En cuanto al calcio, el umbral de biodisponibilidad se encuentra en valores de ratios molares hasta 0,24 (Ma et al, 2005) y como se observa en la Tabla los ratios de los panes con chía son inferiores (entre 0,04-0,06), lo que significa que este mineral será totalmente biodisponible. Finalmente, el cinc que presenta ratios de entre 2,05 y 3,80 también sería biodisponible ya que su umbral de inhibición de la absorción es de 15, muy superior a las ratios obtenidas en este estudio (Ma et al, 2005). Por lo tanto, los panes con ingredientes de chía al 5% podrían proporcionar mayor calcio y cinc que el pan común.

Tabla 2. Concentración de minerales (Fe, Ca, Zn), fitatos y ratios molares fitato/mineral en las materias primas y panes ⁽¹⁾

Muestra	Concentración de minerales μmol/g, b.s.						Fitatos μmol/g, b.s.	Ratio Molar Fitato/Mineral			
	Fe		Ca		Zn			InsP ₆	InsP ₆ /Fe	InsP ₆ /Ca	InsP ₆ /Zn
WF	0,22	a	16,2	a	0,28	a	0,57	a	2,52	0,04	2,02
ChS	1,37	b	97,5	b	1,49	c	5,42	b	3,97	0,06	3,63
ChF	1,79	c	108,5	b	1,18	b	6,58	b	3,67	0,06	5,58
ChSD	1,59	b	114,5	c	1,23	bc	5,10	b	4,15	0,06	5,37
ChPD	1,36	b	138,6	c	1,31	bc	6,63	b	4,84	0,05	5,00
CB	0,25	a	15,5	a	0,30	a	n.d.		--	--	--
ChSB	0,28	b	20,9	a	0,33	a	1,24	b	4,47	0,06	3,80
ChFB	0,31	c	17,9	a	0,37	a	0,75	a	2,45	0,04	2,05
ChSDB	0,29	bc	20,0	a	0,32	a	0,90	ab	2,62	0,04	2,85
ChPDB	0,30	bc	18,6	a	0,32	a	0,94	ab	2,55	0,05	2,96

⁽¹⁾ Media, n=3. Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%. El análisis estadístico de los resultados de las materias primas se ha realizado independientemente de los resultados del pan. Harina de trigo (WF), Semillas de chía (ChS), Harina de Chía (ChF), Harina semi desgrasada de chía (ChSD), Harina parcialmente desgrasada de chía (ChPD), Pan Control (CB), Pan con 5% de semillas de chía (ChSB), Pan con 5% de harina de chía (ChFB), Pan con 5% de harina de chía semi desgrasada (ChSDB), Pan con 5% de harina de chía parcialmente desgrasada (ChPDB), InsP₆: fitatos, n.d.: no detectado.

Efecto de la adición de chía en las propiedades de amasado/sobreamasado

Para conocer el perfil general de las propiedades de amasado y sobreamasado así como la absorción de agua de las diversas formulaciones se utilizó un Farinógrafo. El amasado se realizó mediante movimientos envolventes y esfuerzo de cizalla aportando así la energía necesaria para el estiramiento y alineamiento de las moléculas de las proteínas, la distribución uniforme de las materias primas y su hidratación (Sanz-Penella et al., 2009). La absorción de agua de la harina disminuyó significativamente ($p < 0.05$) con la inclusión de las semillas chía desde 57,8 hasta 56,0% (Tabla 3). Sin embargo, al incluir los demás ingredientes de chía en las formulaciones, estas harinas mostraron un incremento hasta valores entre 58,5 y 59,5%, a pesar de la reducción del contenido de gluten. Este efecto sobre la absorción de agua se debe principalmente a la presencia de la gran cantidad de mucílagos de productos de chía con una alta capacidad de retención de ésta, tal y como ya se observó en investigaciones previas con la incorporación de fibras o hidrocoloides (Rosell et al., 2009).

Tabla 3. Efecto de la adición de los productos de chía en los parámetros de amasado/sobreamasado de las masas Farinógrafo de Brabender⁽¹⁾

Muestra	Unidades	Control	Pan con sustitución del 5%			
			Semillas Chía	Harina Integral de Chía	Harina Semi Desgrasada	Harina Parcialmente Desgrasada
Absorción de agua	%	57,8 b	56,0 a	58,5 b	59,5 c	59,5 c
Tiempo de llegada	min	1,25 a	1,00 a	1,38 a	1,00 a	1,00 a
Tiempo de desarrollo de la masa	min	2,75 ab	2,63 ab	3,75 b	2,50 a	3,00 ab
Estabilidad	min	3,50 a	3,75 ab	4,00 b	3,63 ab	4,25 b
Tiempo de salida	min	4,75 a	4,75 a	5,38 a	4,63 a	4,58 a
Índice de tolerancia al amasado	UB	90 a	95 a	108 a	105 a	100 a
Tiempo de caída	min	2,25 b	1,50 a	1,38 a	1,50 a	1,75 ab

⁽¹⁾ Media, n=3. Valores seguidos de la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%.

Los ingredientes ChF, ChSD y ChPD se encuentran en forma de harina estando el mucílago más accesible que la semilla de chía entera. Las dos muestras con harinas desgrasadas mostraron valores de absorción de agua significativamente superiores a la muestra con harina integral de chía (Tabla 3). En el caso concreto de las semillas de chía, éstas no pierden su integridad durante el amasado lo que dificulta la liberación del mucílago inhibiendo su interacción con el resto de componentes de la masa. Por otro lado, las semillas poseen un mayor tamaño de partícula pudiendo también influir en la absorción de agua durante el amasado, como ya ha sido previamente descrito en salvado con mayor granulometría (Sanz-Penella et al., 2008). La dilución de las proteínas del gluten en las diversas formulaciones, no provocó una disminución en el tiempo de desarrollo de la masa ni en la estabilidad durante el amasado (Tabla 3). En cuanto al tiempo de caída, los ingredientes de chía produjeron una disminución significativa desde 2,25 hasta 1,38 min. El índice de tolerancia al amasado se incrementó desde 90 a 108 UB lo que significa una menor resistencia al sobreamasado en las masas con chía probablemente debido a la dilución del gluten.

Calidad tecnológica del pan fresco

Los ingredientes de chía en forma de harina muestran un incremento significativo tanto del volumen de las piezas panarias como del volumen específico (Figura 2). Este aumento puede ser debido a que el mucílago interacciona con la red de gluten incrementando el volumen de la pieza panaria como ya se ha expuesto en investigaciones previas con la inclusión de diversos hidrocoloides (Bárceñas y

Rosell, 2005). El aspecto de la rebanada central no muestra diferencias significativas respecto al pan control, aunque se puede observar una disminución de ésta (Tabla 4).

En cuanto a los parámetros de textura, cohesividad y masticabilidad no muestran diferencias significativas. La elasticidad, sin embargo, disminuye en los panes con mayor contenido en mucílago, ChSD y ChPD, respecto al control. Cabe destacar que la dureza presenta una tendencia a disminuir en los productos con ingredientes de chíá. El aporte de un hidrocoloide a las masas mejora el perfil de textura disminuyendo la dureza de la miga (Bárceñas y Rosell, 2005). La flexibilidad de los panes con semillas también muestra diferencias significativas respecto al resto de muestras (Tabla 4).

El análisis de color de la corteza no muestra diferencias significativas entre las muestras en los parámetros de luminosidad L^* , tono h_{ab} ni en la diferencia de color ΔE . No obstante, el croma C^* sí que presenta una ligera diferencia significativa respecto al pan control siendo inferior este valor para las harinas integral, semi y parcialmente desgrasada (Tabla 4). En cuanto a la miga, se observan mayores diferencias de color. Los panes con harinas de chíá muestran una menor luminosidad L^* , croma C^* y tono h_{ab} debido a la presencia de los pigmentos propios de la oleaginosa. La miga también presentó diferencias significativas en cuanto a la diferencia de color, con valores superiores a 5 y por lo tanto perceptibles por el consumidor.

El análisis digital de imagen mostró que los panes con chíá no presentan diferencias significativas respecto al pan control. Por lo tanto, el aporte de los productos de chíá en un 5% no produce modificaciones en la estructura de la miga (Figura 2).

Evaluación Sensorial

El análisis sensorial es una herramienta esencial para evaluar la apariencia, color, textura y sabor entre otros, siendo clave para la elección de un producto de ingesta diaria. Por ello, es de suma importancia la información aportada por el panel de catadores establecido. En este estudio se evaluó la aceptabilidad global de los productos desarrollados mediante una escala hedónica de nueve puntos.

El análisis indicó una alta aceptabilidad de los panes con chíá por parte de los catadores. El pan con semillas mostró la puntuación más alta, seguido del resto de panes elaborados con ingredientes de chíá con puntuaciones significativamente superiores a la muestra control (Tabla 4). Los catadores comentaron respecto al pan con semillas: “sabor agradable diferente”, “parece que tuviera aceite”, “parece con anises”, mientras que para los panes con harina de chíá: “la corteza está crujiente”, “aroma ligeramente vegetal”, “miga esponjosa”, “miga más oscura”. Probablemente estas observaciones sobre el color encaminaron a una puntuación inferior de los panes con harinas de chíá respecto al pan con semillas ya que su aspecto les recordaría al pan integral (Figura 2). En general los catadores indicaron el bajo contenido en sal de los productos.

Tabla 4. Efecto de la adición de los productos de chía en el pan.

Muestra	Unidad es	Control	Pan con sustitución del 5%			
			Semillas Chía	Harina Integral	Harina Semi Desgrasada	Harina Parcialmente Desgrasada
Características de la pieza panaria⁽¹⁾						
Volumen	mL	282,5 a	285,0 a	324,2 b	330,8 b	361,7 b
Volumen Específico	mL/g	3,29 a	3,58 a	4,08 b	4,12 b	4,53 b
Relación de Aspecto	cm/cm	1,79 a	1,71 a	1,61 a	1,62 a	1,73 a
Textura de la miga⁽²⁾						
Dureza	N	1,53 a	1,46 a	1,19 a	1,17 a	1,31 a
Elasticidad		1,00 b	0,99 ab	0,99 ab	0,97 a	0,97 a
Cohesividad		0,88 a	0,88 a	0,90 a	0,87 a	0,89 a
Masticabilidad	N	1,33 a	1,26 a	1,03 a	1,01 a	1,22 a
Flexibilidad		0,50 a	0,54 b	0,52 a	0,52 a	0,51 a
Color de la Corteza⁽³⁾						
<i>L</i> *		67,5 a	68,9 a	68,3 a	68,2 a	67,8 a
<i>C</i> *		33,8 b	32,9 ab	30,9 a	31,7 ab	30,7 a
<i>h_{ab}</i>		82,7 a	84,3 a	80,9 a	83,7 a	83,9 a
ΔE		---	4,14 a	4,55 a	4,39 a	5,12 a
Color de la Miga⁽³⁾						
<i>L</i> *		66,2 d	63,0 c	60,5 ab	59,0 a	61,5 bc
<i>C</i> *		14,0 c	12,3 a	12,5 ab	11,9 a	13,1 b
<i>h_{ab}</i>		96,6 c	95,3 b	91,1 a	91,6 a	91,1 a
ΔE		---	4,20 a	6,43 bc	7,69 c	5,20 ab
Alveolado (Análisis Digital de Imagen)⁽¹⁾						
Área Alveolo/Área Total	cm ² /cm ²	0,20 a	0,15 a	0,21 a	0,16 a	0,17 a
Área pared de alveolo/Área Total	cm ² /cm ²	0,80 a	0,85 a	0,80 a	0,84 a	0,83 a
Nº Alveolos/cm ²		19,1 a	22,8 a	23,3 a	22,8 a	22,5 a
Área Media de Alveolo	mm ²	1,01 a	0,83 a	0,88 a	0,72 a	0,79 a
Área Máxima Alveolo	mm ²	7,12 a	6,08 a	7,61 a	5,87 a	6,13 a
Evaluación Sensorial (Escala Hedónica)⁽⁵⁾						
Aceptabilidad general		6,49 a	7,75 c	7,15 b	7,34 bc	7,25 b

⁽¹⁾Mean, n=3, ⁽²⁾n=8, ⁽³⁾n=18, ⁽⁴⁾n=6, ⁽⁵⁾n=50. Valores seguidos de la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%.



FIGURA 2. Efecto de la inclusión de ingredientes a base de chía en el aspecto de las piezas panarias, rebanada central y estructura alveolar de la miga. Control (A), Pan con semillas de chía (B), Pan con harina integral de chía(C), Pan con harina semi desgrasada de chía (D) y Pan con harina parcialmente desgrasada de chía (E).

Efecto de la inclusión de chía y subproductos sobre las propiedades térmicas del almidón de masas panarias

Durante la simulación del horneado en el calorímetro diferencial de barrido, se observó el pico correspondiente al proceso de gelatinización parcial de la fase amorfa del almidón, entre 64,2°C y 76,7°C, siendo la entalpía de 0,922 J/g de masa (Tabla 5). El intervalo de temperaturas de la gelatinización no experimentó cambios significativos con la incorporación de chía en las formulaciones, observándose un ligero incremento en las muestras con harina de chía desgrasada. La entalpía de gelatinización tiende a ser ligeramente superior en las muestras con harina de chía, siendo significativamente diferente la muestra parcialmente desgrasada. Generalmente, la presencia de lípidos interfiere en la gelatinización del almidón por la formación del complejo lípido-amilosa, confiriendo una mayor estabilidad granular del almidón que se traduce en una mayor entalpía de gelatinización (Mondragón et al, 2006). La integridad de las semillas de chía inhibiría la difusión del aceite a la masa por consiguiente estas muestras no siguen esta tendencia (Tabla 5).

En el segundo ciclo de calentamiento tras el almacenamiento a 20°C se observaron dos picos, el primero de ellos corresponde al pico de retrogradación de la amilopectina, mientras que el segundo al de la fusión del complejo lípido-amilosa.

Tabla 5. Efecto de la adición de los ingredientes de chía en las propiedades térmicas del almidón mediante DSC⁽¹⁾.

Muestra	Unidades	Control	Pan con sustitución del 5%				
			Semillas Chía	Harina Integral	Harina Semi Desgrasada	Harina Parcialmente Desgrasada	
Gelatinización del almidón⁽²⁾							
Temperatura de inicio	°C	64,2 a	64,2 a	64,0 a	64,5 a	64,5 a	
Temperatura de pico	°C	69,8 ab	69,9 ab	69,6 a	70,1 b	70,1 b	
Temperatura final	°C	76,7 a	76,8 a	76,6 a	77,3 b	76,7 a	
Entalpía de Gelatinización	J/g b.s.	0,922 bc	0,863 ab	0,975 c	0,921 bc	0,818 a	
PHI	J/g°C	0,168 c	0,151 ab	0,174 c	0,165 bc	0,146 a	
Retrogradación de la Amilopectina, 3 días⁽³⁾							
Temperatura de inicio	°C	46,5 a	46,7 a	46,7 a	46,8 a	46,5 a	
Temperatura de pico	°C	58,5 a	58,5 a	58,1 a	58,3 a	58,3 a	
Temperatura final	°C	70,1 b	69,7 ab	69,2 a	69,6 ab	69,9 b	
Entalpía de Retrogradación	J/g b.s.	1,407 b	1,249 ab	1,079 a	1,250 ab	1,294 ab	
Índice de Retrogradación		1,256 b	1,447 b	1,106 a	1,357 ab	1,582 b	

⁽¹⁾DSC: Calorímetro Diferencial de Barrido; PHI: índice de la altura de pico $\Delta H_g / (T_p - T_o)$; Índice de Retrogradación: $\Delta H_r / \Delta H_g \times 100$; b.s. base seca, ⁽²⁾Media, n=12, ⁽³⁾n=3, Valores seguidos de la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%.

El pico de retrogradación al cabo de 3 días de almacenamiento a 20°C se inicia a 46,5°C y finaliza a 70,1°C, siendo su entalpía de 1,407 J/g de masa (Tabla 5). Los ingredientes de chía prácticamente no modifican el intervalo de temperaturas de transición presentando una tendencia a disminuir la temperatura final, siendo esta reducción significativa en la muestra con harina integral de chía. Por otro lado, la entalpía de retrogradación tendió a ser menor en las muestras con chía, significativamente en el caso de harina integral de chía (Tabla 5).

Tras el análisis de las propiedades térmicas del pan se registró la evolución de la retrogradación de la amilopectina, debido a que es uno de los principales mecanismos involucrados en el envejecimiento del pan. Los panes con ingredientes de chía tienen una menor velocidad de retrogradación llegando a valores límite de entalpía inferiores (1,83-2,03 J/g) al pan control (2,13 J/g). Las muestras con harina integral de chía mostraron la menor cinética de retrogradación (Figura 3). La chía triturada es el ingrediente con mayor contenido de aceite accesible pudiendo interferir en la recristalización de la amilopectina. Este ingrediente también posee alta concentración de mucílagos accesibles, al igual que las harinas desgrasadas, lo que afecta el equilibrio del agua en la masa pudiendo inhibir la retrogradación. Investigaciones previas concluyeron que la presencia de hidrocoloides en masas panarias disminuye la entalpía de retrogradación por estabilización de la masa panaria (Bárcenas y Rosell, 2007).

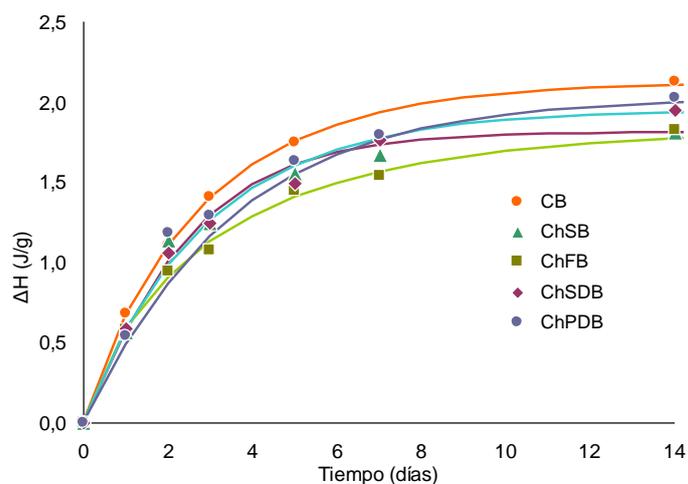


FIGURA 3. Efecto del almacenamiento de pan en la entalpía de retrogradación de la amilopectina

CONCLUSIONES

La incorporación de chía en un 5% incrementó el valor nutricional de los panes con respecto al pan control en cuanto al contenido de proteínas de mayor valor biológico, lípidos con alta proporción de ácidos orgánicos omega y fibra dietética.

La chía y sus subproductos tienen un alto contenido en minerales como hierro, calcio y cinc, así como una mayor proporción de fitatos respecto a la harina de trigo. Su incorporación hasta un 5% en productos de panadería mostró un incremento en el contenido de minerales, sin afectar la biodisponibilidad del Ca y Zn como predicen las relaciones molares Fitato/mineral.

Los ingredientes de chía prácticamente no modificaron las propiedades de amasado y sobreamasado, con la excepción de la absorción de agua debido a la presencia de alta proporción de mucílagos en estos ingredientes.

La calidad tecnológica de los productos desarrollados con chía no presentó diferencias en comparación a la muestra control, con la excepción del incremento del volumen de la pieza panaria y ligera disminución de los parámetros de color de la miga.

La inclusión de chía y subproductos incrementaron la aceptabilidad general de los productos de panadería.

La cinética de retrogradación de la amilopectina se inhibió con la incorporación de ingredientes de chía, lo que está directamente relacionado con el retraso del envejecimiento del pan.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los siguientes Proyectos de Investigación: *Nuevos Ingredientes de Alimentos Funcionales para Mejorar la Salud* Consolider-Ingenio Convocatoria 2007 (Ref: CSD2007-00063) y *Asociaciones mixtas de granos como estrategia para obtener alimentos fermentados con valor añadido basados en cereales* I+D+i de los programas del Plan Nacional (Ref: AGL2011-22669), Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS

- AACC. Approved Methods of AACC. Method 54–21, ninth ed. The American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, Minnesota, 1995.
- AACC. 1983. Approved methods of the AACC (8th ed.) St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. Methods 46-13, 54-21.
- AIAB, Association internationale de la boulangerie industrielle. 2007. Market reports for 2006, AIBI Presidium meeting in Ljubljana/Slovenia.
- AOAC. 1991. Determination of total, soluble and insoluble dietary fibre. *Megazyme*. Methods 991.43.
- AOAC. 1991. Total dietary fibre assay procedure. *Megazyme*. Based on AACC method 32-05 and AOAC Method 985.29
- Ayerza, R. 1995. Oil content and fatty acid composition of chía (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **72**:1079-1081.
- Ayerza, R. 2010. Effects of seed color and growing locations on fatty acid content and composition of two chia (*Salvia Hispanica* L.) genotypes. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **87**:1161-1165.
- Bárcenas, M.E., Rosell, C.M. 2007. Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition. *Food Chemistry*, **100**:1594–1601.
- Cahill, J.P. 2003. Ethnobotany of Chía, *Salvia hispanica* L. (*Lamiaceae*). *Economic Botany*, **57**:603-618.
- EFSA, 2009. Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies on a request from the European Commission on the safety of 'Chia seed (*Salvia hispanica* L.) and ground whole Chia seed' as a food ingredient, No EFSA-Q-2008-008, *The EFSA Journal*, **996**:1-26.
- Escudero Álvarez, E., González Sánchez, P. 2006. La fibra dietética. Unidad de Dietética y Nutrición, Hospital La Fuenfría, Madrid. *Nutrición Hospitalaria*, **21(2)**: 61-72.
- Gilabert, E.J. 2002. Medida del color. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Hurrell, R.F. 2004. Phytic acid degradation as a means of improving iron absorption. *Int J Vitam Nutr Res*, **74**:445-452.
- ICC. 1990. Determination of ash in cereals and cereal products. Method 104/1.
- Ixtaina, V.Y., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. 2008. Physical properties of chía (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, **28**:286-293.
- Ma, G., Jin, Y., Plao, J., Kok, F., Guusie, B. & Jacobsen, E. 2005. Phytate, Calcium, Iron, and Zinc contents and their molar ratios in foods commonly consumed in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**:10285–10290.
- Mondragón, M., Mendoza-Martínez, A.M., Bello-Pérez, L.A., Peña, J.L. 2006. Viscoelastic behavior of nixtamalized maize starch gels. *Carbohydrate Polymers*, **65**:314–320.
- Muñoz Calvo, J.L., M.T. 2007. Síndrome metabólico. Servicio de Endocrinología, Hospital Universitario Infantil Niño Jesús, Madrid. *Pediatría Integral*, **XI(7)**:615-622.

NAOS, Estrategia para la Nutrición, Actividad Física y Prevención de la Obesidad. 2012.

<http://www.naos.aesan.msssi.gob.es/naos/observatorio/observatorio00102.html>

- Olivos-Lugo, M.A., Valdivia-López, M.A., Tecante, A. 2010. Thermal and physicochemical properties and Nutritional value of the protein fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Food Science and Technology International*, **16**:89-96.
- Official Journal of the European Union. 2009. Authorising the placing on the market of Chia seed (*Salvia hispanica* L.) as novel food ingredient under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council, 2009/827/EC, L 294/14-15.
- Peiretti, P.G., Gai, F. 2009. Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds and plant during growth. *Animal Feed Science and Technology*, **148**:267–275.
- Reyes-Caudillo, E., Tecante, A., Valdivia-López, M.A. 2008. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia Hispanica* L.) seeds, *Food Chemistry*, **107**:656-663.
- Rosell, C.M., Santos, E., Collar, C. 2009. Physicochemical properties of dietary fibers, from different sources: a comparative approach. *Food Res. International*, **42**:176-184.
- Sanz-Penella, J. M., Collar, C., & Haros, M. 2008. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *Journal of Cereal Science*, **48**:715–721.
- Sanz Penella, J.M., Tamayo-Ramos, J.A., Sanz, Y., Haros, M. 2009. Phytate reduction in bran-enriched bread by phytase-producing bifidobacteria, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **57**:10239-10244.
- Solis Fuente, J.A. 2006. Al rescate de la chía, una planta alimenticia prehispánica casi olvidada. *Ciencia y Hombre*, Volumen XIX, N°3.
- Türk, M., & Sandberg, A. S. 1992. Phytate degradation during breadmaking – effect of phytase addition. *Journal of Cereal Science*, **15**:281–294.

ANEXO I

Tabla. Condiciones de proceso para cada formulación tras la optimización del mismo

Parámetro	Amasado		Fermentación			Horneado	
	Absorción de agua	Tiempo	Temperatura	Tiempo	Volumen	Temperatura	Tiempo
	%	min	°C	min	ml	°C	min
Pan Control	57,8	3	29	45	135	190	18
Pan con Semillas de Chía	56,0	4	29	40	120	170	23
Pan con Harina Integral de Chía	58,5	4	29	45	140	170	23
Pan con Harina Semi Desgrasada de Chía	59,5	4	29	45	140	170	23
Pan con Harina Parcialmente Desgrasada	59,5	4	29	45	130	170	23