



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

DESARROLLO DE PANES ESPECIALES CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO

MÁSTER EN GESTIÓN Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Autora:

Neus Sanz Ponce

Directora:

Dra. Mónica Haros

Coodirector:

Lic. Juan Mario Sanz Penella

Tutor:

Dr. Ramón Catalá Moragrega

Universidad Politécnica de Valencia

DESARROLLO DE PANES ESPECIALES CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO

Sanz, N.; Sanz-Penella, J.M.; Haros, M.¹

¹Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC), Avenida Agustín Escardino, 7 Parque Científico 46980 Paterna, Valencia, España

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue desarrollar nuevos productos a base de cereales, con mayor calidad nutricional, mediante el uso de harina integral de *A. hypochondriacus* (AH) y *A. spinosus* (AS), con el fin de evaluar su potencial como ingrediente en panificación. En la formulación de la masa, la harina se sustituyó por harina integral de amaranto en distintas proporciones (0, 25 y 50%). La calidad del producto fue analizada en términos de volumen específico de la pieza panaria, relación de aspecto de la rebanada central, color de la corteza y miga, estructura y dureza de la miga, análisis sensorial, y propiedades nutricionales. Las propiedades térmicas fueron registradas mediante un DSC; evaluándose las entalpías de gelatinización y retrogradación de la amilopectina, y las temperaturas de transición térmica. El volumen específico del pan disminuyó significativamente en comparación con la muestra control, observándose un incremento significativo de la dureza de la miga con amaranto. La inclusión de harina integral de amaranto en la formulación modificó significativamente los parámetros que describen el color de la corteza y la miga. Su adición implicó un aumento significativo en el contenido de proteínas, fibra dietética y cenizas. El análisis sensorial indicó que la adición de harina integral de amaranto disminuyó la aceptabilidad de los consumidores, sin embargo, el pan elaborado con harina AH mostró una mayor aceptabilidad que el elaborado con harina AS. La inclusión de amaranto en la formulación panaria permitió cambios positivos en las propiedades térmicas del almidón retrasando y decreciendo la retrogradación de la amilopectina. La harina integral de amaranto podría ser empleada como sustituto de harina de trigo en formulaciones de pan, puesto que mejora el valor nutritivo del producto, con una leve depreciación de la calidad cuando se sustituye la harina en un 25%.

PALABRAS CLAVE: Amaranto, calidad del pan, fibra dietética, retrogradación

RESUM

L'objectiu d'aquesta investigació va ser el desenvolupament de nous productes a base de cereals, amb major qualitat nutricional, mitjançant l'ús de farina integral d'*A. hypochondriacus* (AH) i *A. spinosus* (AS) amb la

finalitat d'avaluar el seu potencial com a ingredient en panificació. En la formulació de la massa, la farina es va substituir per farina integral d'amarant en diferents proporcions (0, 25 i 50%). La qualitat del producte va ser analitzada en termes de volum específic de la peça panària, relació d'aspecte de la llesca central, color de la corfa i de la molla, estructura i duresa de la molla, anàlisi sensorial, i paràmetres nutricionals. Les propietats tèrmiques van ser registrades mitjançant un DSC; avaluant-se les entalpies de gelatinització i retrogradació de l'amilopectina, i les temperatures de transició tèrmica. El volum específic del pa va disminuir significativament en comparació amb la mostra control, observant-se un increment significatiu de la duresa de la molla amb amarant. L'addició de farina integral d'amarant en la formulació va modificar significativament els paràmetres que descriuen el color de la corfa i de la molla. La seua addició implicà un augment significatiu en el contingut de proteïnes, fibra dietètica i cendres. L'anàlisi sensorial indicà que la incorporació de farina integral d'amarant va disminuir l'acceptabilitat dels consumidors, no obstant això, el pa elaborat amb farina AH mostrà una major acceptabilitat que l'elaborat amb farina AS. L'afegiment d'amarant en la formulació panària va permetre canvis positius en les propietats tèrmiques del midó, retardant i decreixent la retrogradació de l'amilopectina. La farina integral d'amarant podria ser emprada com a substitut de la farina de blat en formulacions de pa, ja que millora el valor nutritiu del producte, amb una lleugera depreciació de la qualitat quan es substitueix la farina en un 25%.

PARAULES CLAU: Amarant, qualitat del pa, fibra dietètica, retrogradació

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to develop new cereal-based products, with increased nutritional quality, by using whole flour from *Amaranthus spinosus* (AS) and *Amaranthus hypochondriacus* (AH) grains in order to evaluate its potential as a bread-making ingredient. Different amaranth flour levels (0, 25 and 50%) were used in bread dough preparation. The quality of the final products was analysed by the loaf specific volume, width/height ratio of the central slice, crust and crumb colour, crumb structure and firmness, sensorial analysis, and nutritional parameters. Thermal properties were recorded in DSC; they were the enthalpies of gelatinisation and amylopectin retrogradation, and the temperature of the thermal changes. The loaf specific volume was significantly decreased when compared with control sample, therefore a significant increase of the crumb firmness was observed with amaranth. Colour tristimulus values were significantly affected when the whole amaranth flour was used. The supplementation resulted in statistically significant increase of protein, dietary fibre and ash. The sensorial analysis indicated that the inclusion of whole amaranth flour decreased the acceptability of consumers, nevertheless the bread with AH flour showed higher acceptability than bread made with AS flour. The inclusion of amaranth into bread formulation allowed positive changes in the starch

thermal properties delaying and decreasing the amylopectin retrogradation. The whole amaranth flour could make possible as wheat flour replacement in formulations of bread increasing the product nutritious value with slight depreciation of bread quality when wheat flour is replaced at 25% of substitution.

KEYWORDS: Amaranth, bread quality, dietary fibre, retrogradation

INTRODUCCIÓN

Los cereales en sus diversas formas son un componente esencial de la dieta, siendo fuente importante de hidratos de carbono, proteínas, fibra dietética y vitaminas (Katina *et al.*, 2005). El consumo de pan y productos de panadería hechos a base de harina refinada de trigo suele ser la tendencia habitual, sin embargo esta harina se caracteriza por un limitado valor nutricional (Isserliyska *et al.*, 2001). Muchos estudios han sido conducidos a mejorar el valor nutritivo del pan de trigo con ingredientes funcionales, por lo que una de las recomendaciones es la adición de mezclas de diferentes semillas, granos de otros tipos de cereales o frutos secos (Bodroza-Solarov *et al.* 2008). Se ha estimado que alrededor de dos mil millones de personas en el mundo sufren distintas formas de deficiencias nutricionales, especialmente en los países en desarrollo donde la diversidad de la dieta es limitada (Bodroza-Solarov *et al.*, 2008). Para superar dichas deficiencias y fomentar el consumo de alimentos más saludables, nutritivos y seguros, se han llevado a cabo intervenciones nutricionales, como son el uso de cereales en grano entero y harinas integrales, productos con un elevado aporte de fibra dietética (Bodroza-Solarov *et al.*, 2008; Sanz-Penella *et al.*, 2008ab; Sanz-Penella *et al.*, 2009ab; Sanz-Penella *et al.*, 2010ab). El bajo consumo de fibra se ha asociado con enfermedades coronarias, aterosclerosis, y cáncer de colon, por lo que una mayor cantidad de ésta en la dieta humana causaría una menor incidencia de estas enfermedades (Matia *et al.*, 2007; Sanz-Penella *et al.*, 2009a). Asimismo, estudios epidemiológicos, confirman que el consumo de alimentos ricos en cereales y pseudocereales de grano entero ayuda a prevenir las enfermedades asociadas con el síndrome metabólico (Aleixandre y Miguel, 2008).

Los pseudocereales son plantas cuyos granos son ricos en materia harinosa como los cereales, aptos para la fabricación de pan o sucedáneos, pero que a diferencia de éstos, son dicotiledóneas y todos pertenecen a los géneros *Amaranthus* y *Chenopodium* (Buitrago y Torres., 2000).

El grano de amaranto (*Amaranthus* spp.), es originario del Sud América y América central, excepto especies que son provenientes de regiones tropicales y subtropicales de la India (Transue *et al.*, 1994; Sangameswaran *et al.*, 2008). Aunque muchas especies son consideradas oportunistas, solamente cuatro de ellas (*A. hypochondriacus*, *A. spinosus*, *A. caudatus* y *A. cruentus*), pueden ser destinadas a consumo humano (Gamel *et al.*, 2006, Sangameswaran *et al.*, 2008).

La calidad nutricional del grano de amaranto se considera superior a la de los cereales, tales como el trigo, cebada o arroz (Oszvald *et al.*, 2009). Posee un alto contenido proteínico y equilibrada composición en aminoácidos esenciales, por este motivo es considerado una fuente de proteínas de alta calidad para la dieta (Giuseppe *et al.*, 2009; Oszvald *et al.*, 2009). Además, es rico en almidón, aceite, fibra dietética, vitaminas (A, K, B6, C, E y B) y minerales como calcio, magnesio, fósforo, hierro, potasio, zinc, cobre y manganeso (Bodroza-Solarov *et al.*, 2008; Zapotoczny *et al.*, 2006). Por este motivo en las últimas décadas, el amaranto ha logrado captar un creciente interés como ingrediente funcional, en especial en procesos de panificación, puesto que es muy versátil para la transformación e industrialización (Mujica-Sánchez *et al.*, 1997; Zapotoczny *et al.*, 2006; Jacobsen *et al.*, 2002). Puede transformarse y utilizarse como cualquier cereal, aunque por falta de gluten, debe mezclarse con la harina de trigo fundamentalmente en productos de panadería (Mujica-Sánchez *et al.*, 1997).

El objetivo de este trabajo de investigación ha sido desarrollar un nuevo producto de panadería, con elevada calidad nutricional, mediante la sustitución de harina de trigo por harina integral de amaranto (*A. hypochondriacus* y *A. spinosus*), para evaluar su funcionalidad como ingrediente panario. Se evaluó la calidad nutricional, tecnológica, y sensorial de los productos desarrollados con distinto grado de sustitución comparándolos con la muestra control.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

En la elaboración de los panes, se utilizaron harina de trigo comercial, y harinas integrales de *Amaranthus hypochondriacus* (AH) de origen mexicano (Corporación Proteína Americana, SCRL, Tehuacán Puebla, México) y *Amaranthus spinosus* (AS) de origen indio (Bio cesta, MTV, España).

Las características de las harinas usadas se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Composición nutricional de las harinas^(a,b)

Tipo de harina	Humedad %	Proteínas % b.s.	Lípidos % b.s.	Cenizas % b.s.
Harina de trigo ^(a)	13,59c	10,22a	1,08a	0,09a
Harina integral de AH ^(b)	10,50a	14,80b	5,94b	2,62b
Harina integral de AS ^(b)	11,04b	14,04b	6,04b	2,44b

^(a) %Proteínas (Nx5,70). ^(b) %Proteínas (Nx5,85). ^(a,b) *A. hypochondriacus* (AH), *A. spinosus* (AS), base seca (b.s.). Media, n=3. Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%

También se utilizó en la formulación de la masa, levadura prensada comercial (*Saccharomyces cerevisiae*, Levamax, España) como iniciador del proceso panario, sal común, agua potable y ácido ascórbico (Panreac, España).

Métodos

PROCESO DE PANIFICACIÓN

La formulación básica empleada en la elaboración de la masa, expresada en base harina fue (500g): harina o mezcla de harinas, 100%; sal, 2%; levadura panaria comercial, 5%; agua, correspondiente a 500 Unidades Brabender en farinógrafo; y ácido ascórbico, 0,01% (Tabla 2).

TABLA 2. Condiciones de panificación según formulación^(a)

Muestra	Sustitución		t _{Amasado} min	t _{Fermentación} min	T _{Horneado} °C	t _{Horneado} min
	% base harina	Agua %				
C	0	55,0	3,0	65,0	170	20,0
AH	25	58,0	4,0	45,0	165	25,0
	50	60,0	4,0	25,0	160	30,0
AS	25	57,5	4,0	56,0	165	25,0
	50	60,5	4,0	30,0	160	30,0

^(a)Control (C), *A. hypochondriacus* (AH), *A. spinosus* (AS), tiempo de amasado (t_{Amasado}, min), tiempo de fermentación (t_{Fermentación}, min), Temperatura de horneado (T_{Horneado}, °C), tiempo de horneado (t_{Horneado}, min)

La elaboración de la masa se efectuó a través del método esponja. Ésta fue preparada con 250g de harina, 50% del agua total a añadir y 25g de levadura, fermentándose durante 24 horas a 4°C. Tras la fermentación, se adicionaron el resto de ingredientes y se mezclaron en amasadora (Mahot, Francia) hasta el desarrollo de la masa (Tabla 2). Posteriormente, se dejó reposar la masa durante 10 minutos para su fermentación y se dividió en piezas de 100g dándoles forma esférica a través de una boleadora (Brabender, Alemania). A continuación, se dejó en reposo durante 15 minutos a temperatura ambiente. Las piezas se fermentaron en una cámara de fermentación (Infrisa, España) a 28°C y humedad relativa de 80% hasta el desarrollo óptimo del volumen (Tabla 2). Finalizado el periodo de fermentación, las piezas se hornearon en horno eléctrico (Eurofours.59144 Gommegnies, Francia) a temperatura y tiempo estipulado según formulación (Tabla 2). Finalmente, los panes fueron enfriados a temperatura ambiente durante una hora para su posterior análisis. Los experimentos fueron realizados por duplicado.

CALIDAD DEL PAN FRESCO

Se determinó la composición química en términos de contenido de humedad (AACC 44-15A, 1995), cenizas por ignición a 910°C (ICC 104/1, 1990), contenido en proteínas por el método semimicro de Kjeldhal (AACC 46-13, 1983) y el contenido en fibra dietética soluble e insoluble (AOAC 991.43, 1991).

Los parámetros tecnológicos analizados fueron volumen específico de la pieza panaria (cm^3/g) (panvolumenómetro, Chopin, Francia), relación de aspecto de la rebanada central (cm/cm) y dureza de la miga, empleando el análisis del perfil de textura (TPA), determinado por un texturómetro TA-XT plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) (Haros *et al.*, 2001).

El análisis digital de imagen fue usado para evaluar la estructura de la miga del pan. Las imágenes fueron previamente escaneadas con una resolución de 240 píxeles por centímetro (HP ScanJet 4400C, Hewlett Packard, USA) con el programa HP PrecisianScan Pro 3.1. Para el análisis de la estructura de la miga se utilizaron dos cuadrados de 10mm x 10mm procedentes de la rebanada central de cada pieza panaria estudiada. Los datos fueron procesados usando 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 de alveolos/ cm^2 ; y área media alveolar, (mm^2) (Sanz-Penella *et al.*, 2009a).

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), estándar blanco, y un observador de 10°. Los parámetros evaluados pertenecen al espacio cromático CIELab, el cual es un sistema uniforme en el que se definen tres coordenadas: L^* , luminosidad (varía de 0 a 100); a^* , que representa la variación de rojo a verde y b^* , que representa la variación de amarillo a azul. A partir de los valores de L^* , a^* y b^* , se calcularon las coordenadas psicométricas tono (h^*_{ab}), croma (C^*_{ab}) y se estimaron las diferencias de color (ΔE^*) (Gilabert, 2002). El color de la corteza y la miga fue determinado en diferentes puntos de distintas piezas panarias para minimizar la heterogeneidad producida por la adición de amaranto.

La concentración inicial y residual de ácido fítico y fosfatos de *mio*-inositol de menor grado de fosforilación, fueron determinados por cromatografía líquida de alta resolución en fase reversa con detector de índice de refracción (Sanz-Penella *et al.*, 2008b).

Las propiedades térmicas del almidón de la masa panaria durante el proceso de cocción (gelatinización) y los cambios durante el almacenamiento de pan (retrogradación) se estudiaron en un calorímetro diferencial de barrido (DSC7 de Perkin-Elmer). El equipo fue calibrado con Indio y Zinc. Las muestras de masa fermentada de 25 mg fueron pesadas en cápsulas de acero inoxidable (LVC 0319-0218, Perkin Elmer) y fueron selladas utilizando una prensa (Quick-Press, 0990-8467, Perkin-Elmer). Para simular el perfil de temperaturas en el centro de la miga de pan durante su

horneado se emplearon las condiciones descritas por Sanz- Penella *et al.* (2010b): Isoterma a 30°C durante 1 min, calentamiento desde 30 a 110°C a una velocidad de 11,7°C/min, Isoterma de 5 minutos a 110°C y finalmente enfriamiento desde 110°C hasta 30° C a 50°C/min. Para analizar la retrogradación de la amilopectina, las cápsulas se almacenaron a 25°C durante 0, 1, 2, 3, 4, 7, 10 y 14 días, subsiguientemente fueron calentadas en el calorímetro de 30 a 110°C a 10°C/min (Sanz-Penella *et al.*, 2010a). Como referencia se usó una capsula vacía. Los parámetros evaluados fueron: temperatura inicial (T_o), de pico (T_p), final del pico (T_f) y su entalpía (ΔH_G , ΔH_R , J/g de masa) representada por el área bajo la curva del pico endotérmico de gelatinización y retrogradación respectivamente.

El análisis sensorial del pan fresco se llevó a cabo con la participación de 26 catadores, no entrenados y voluntarios, quienes usualmente eran consumidores habituales de pan integral. La aceptabilidad de los consumidores se evaluó mediante una escala hedónica donde se reflejaba el grado de aceptación de los mismos (me gusta muchísimo, me gusta mucho, me gusta moderadamente, me gusta poco, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta poco, me disgusta moderadamente, me disgusta mucho y 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 nutricional del pan fresco

Las muestras elaboradas con harina integral de amaranto presentaron un incremento significativo en el contenido en cenizas, proteínas y fibra insoluble respecto a la muestra control, mostrándose el contenido de fibra soluble sin cambios significativos (Tabla 3).

La sustitución de harina por harina integral de amaranto, incrementó el valor de las cenizas hasta superar dos veces el valor de la muestra control, por lo que la inclusión de harinas integrales constituye un aumento del contenido de minerales en el producto final (Sanz-Penella *et al.*, 2009a) (Tabla 1 y 3). Del mismo modo, la adición de un 50% de harina integral de amaranto aumentó el contenido proteico en un 15%, representando dicho incremento una mayor cantidad de proteínas de mayor valor biológico para consumo humano debido a su composición aminoacídica respecto a la muestra control (Silva-Sánchez *et al.*, 2008). Referente al contenido en fibra total, la inclusión de amaranto acrecentó su valor desde 6,96 hasta 11,65% a causa del contenido de fibra insoluble fundamentalmente (Tabla 3). Por este

motivo el grano entero de amaranto puede ser empleado como fuente de fibra (Tosi *et al.*, 2001).

TABLA 3. Composición nutricional del pan fresco^(a,b)

Muestra	Harina	Cenizas %	Proteínas %	Fibra		Fibra Total %
	De Amaranto %			Insoluble %	Soluble %	
		b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.
C	0	1,69a	16,46a	3,87a	3,09a	6,96a
AH	25	2,98b	17,56ab	6,54b	3,36a	9,90bc
	50	3,98c	19,01c	7,91c	3,44a	11,34bc
AS	25	3,00b	18,05bc	6,34b	3,16a	9,50b
	50	3,54c	18,42bc	8,71c	2,94a	11,65c

^(a)Control (C), *A. hypochondriacus* (AH), *A. spinosus* (AS), base seca (b.s.). ^(b) Media, n=4. Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%

Las muestras elaboradas con el mismo porcentaje de adición de amaranto pero de especies diferentes, no presentaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros evaluados (Tabla 3), puesto que las distintas especies de amaranto no mostraron diferencias significativas en cuanto a su composición química (Tabla 1).

Calidad del pan fresco

Las muestras adicionadas con harina integral de amaranto requirieron mayor proporción de agua en la formulación para alcanzar la misma consistencia panaria que la muestra control (Tabla 2). Sin embargo, a pesar de ello y por contener mayor proporción de fibra dietética, los valores de humedad en el producto final no mostraron diferencias significativas respecto al control (Tabla 4) (Zapotoczny *et al.*, 2006).

Una menor cantidad de gluten en los panes elaborados con harina de amaranto ocasionó una disminución del volumen específico hasta un valor de 2,38 mL/g, aunque sin diferencias significativas entre las muestras con un 25% de sustitución y la muestra control. Por otro lado, la relación ancho/alto de los panes, el cual describe la forma de la miga panaria, se mantuvo prácticamente constante en todas las muestras (Tabla 4 y Figura 1).

La dureza de la miga se incrementó significativamente con la adición del 50% de harina de amaranto para las dos especies utilizadas, presentando valores de 2,46 y 2,16N para *A. hypochondriacus* y *A. spinosus* respectivamente (Tabla 4). La dureza está relacionada con la fuerza requerida para comprimir un alimento con los dientes, la cual es una característica de calidad para los productos panarios, puesto que está fuertemente correlacionada con la percepción de frescura por los consumidores (Giannou *et al.*, 2007). En este sentido, la muestra control

posee mayor percepción de frescura respecto a las muestras con harina de amaranto, no presentando diferencias significativas respecto a las muestras con una sustitución del 25%.

TABLA 4. Efecto de la adición de distintas especies de harina integral de amaranto en los parámetros tecnológicos del pan fresco^(a,b)

Muestra	Harina		Volumen ^(b) Específico mL/g	Ancho/Alto ^(b) cm/cm	Dureza ^(b) N
	De Amaranto %	Humedad ^(a)			
C	0	27,77a	4,05b	1,70a	0,77a
AH	25	28,94a	3,63b	1,64a	1,05a
	50	29,25a	2,71a	1,64a	2,46b
AS	25	28,62a	3,74b	1,61a	0,91a
	50	28,93a	2,38a	1,65a	2,16b

^(a,b) Control (C), *A. hypochondriacus* (AH), *A. spinosus* (AS). Media, n=4^(a) n=6^(b). Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%

La sustitución de harina por harina integral de amaranto afectó a la calidad del pan fresco (Tabla 4), fundamentalmente como consecuencia de las partículas de salvado, el cual puede dificultar la formación de la red glutinosa, que a su vez se vio afectada por la menor cantidad de gluten en las muestras con harina integral de amaranto, y que por tanto, repercutió en el volumen y dureza de la miga (Bodroza-Solarov *et al.*, 2008) (Figura 1). No se produjeron diferencias significativas en este parámetro entre las muestras elaboradas con distintas especies de amaranto con el mismo porcentaje de adición (Tabla 4 y Figura 1).

La inclusión de harina integral de amaranto, mostró diferencias significativas en cuanto a la estructura de la miga respecto a la muestra control. No obstante, en el número de alveolos no se observaron diferencias significativas, excepto en la muestra con una sustitución del 25% *A. spinosus* (Tabla 5). Las muestras con harina de amaranto presentaron mayor número de alveolos/cm² pero menor área media alveolar (Tabla 5).

Comparando dichos resultados con los parámetros volumen específico y dureza, se observa que la sustitución de harina por harina integral de amaranto ocasionó un mayor número de alveolos siendo menor su tamaño y como consecuencia disminuyó el volumen específico y aumentó la dureza. Pese a esta tendencia, en la Tabla 5 y Figura 1, se puede observar que, los panes elaborados con un 25% de sustitución, presentaron menores cambios visuales que los panes con un 50% en relación a la muestra control. A pesar de ello, entre las distintas especies no se establecieron diferencias significativas. El menor contenido de gluten en este tipo de panes provocó un cambio en el tamaño y distribución de los alveolos en la miga de pan comparado con la muestra control. Esto impidió la expansión de la masa

durante la fermentación, debido a la interferencia del salvado en la eficiente formación y desarrollo de la estructura de los alveolos (Sanz-Penella *et al.*, 2010a).

TABLA 5. Efecto de la formulación en la estructura de la miga^(a,b)

Muestra	Harina De Amaranto %	Área alveolar/Área total cm ² /cm ²	Área de la pared alveolar/Área total cm ² /cm ²	Nº Alveolos/cm ²	Área media alveolar mm ²
C	0	0,53c	0,47a	109,91a	3,30c
AH	25	0,35a	0,65c	148,28ab	1,40a
	50	0,45b	0,55b	133,53ab	2,10ab
AS	25	0,39ab	0,61bc	160,28b	1,60ab
	50	0,46bc	0,54ab	129,44ab	2,50bc

^(a) Control (C), *A. hypochondriacus* (AH), *A. spinosus* (AS). ^(b) Media, n=8. Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%

La inclusión de harina integral de amaranto en la formulación de pan afectó tanto al color de la corteza, como al de la miga (Tabla 6). En los parámetros de color de la corteza se observó un descenso significativo en la luminosidad (L*) y el tono (h*) en las muestras con harina integral de amaranto; mientras que el croma (C*) se incrementó significativamente, siendo los cambios más pronunciados a mayor concentración de amaranto (Tabla 6).

La misma tendencia fue observada en los parámetros que describen el color de la miga, aunque en menor medida. La harina integral de amaranto presentó una luminosidad inferior a la harina de trigo con ligera tonalidad amarilla (datos no mostrados). Estas diferencias fueron las responsables de los cambios de color entre muestras, lo que produjo un incremento de coloración a mayor porcentaje de sustitución mejorando de este modo, el color de la corteza y miga respecto al pan de trigo (Bodroza-Solarov *et al.*, 2008). Además, las razones por las cuales se han podido observar pequeños cambios en el color de la miga podría deberse al cambio en la estructura de los poros y sus propiedades reflectantes, en muestras en las que se observaron diferencias en el volumen específico (Sanz-Penella *et al.*, 2010b). El parámetro que indica la diferencia de color entre muestras (ΔE^*) presentó valores superiores a 5 unidades, indicando diferencias de color evidentes por observación visual (Tabla 6 - Figura 1).

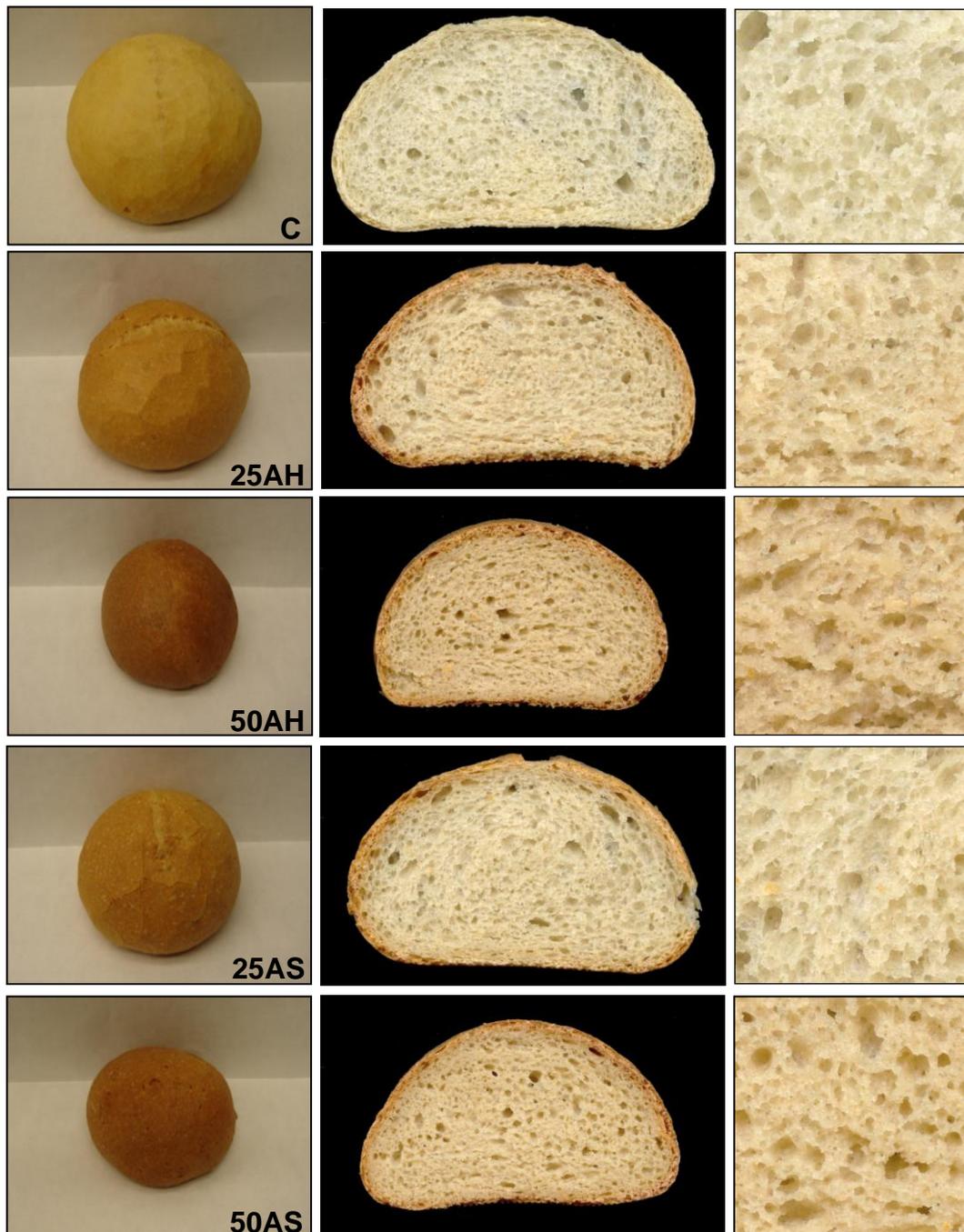


FIGURA 1. Efecto de la sustitución de harina por harina integral de amaranto en el aspecto del pan, rebanada central y estructura de la miga. C: Control, 25AH: 25% *A. hypochondriacus*, 50AH: 50% *A. hypochondriacus*, 25AS: 25% *A. spinosus*, 50AS: 50% *A. spinosus*

TABLA 6. Efecto de la adición de distintos tipos de harina integral de amaranto en el color de la corteza y miga del pan fresco^(a,b)

Muestra	Harina	Corteza ^(a)				Miga ^(b)			
	De	L*	h*	C*	ΔE^*	L*	h*	C*	ΔE^*
	Amaranto								
C	0	73,0d	85,9c	30,8a	-	69,9d	95,1e	15,9a	-
AH	25	57,9c	70,3b	34,4c	18,4	67,2c	88,8c	21,8b	6,8
	50	49,6a	64,6a	32,9b	26,2	61,4a	83,7a	25,8c	13,7
AS	25	60,9c	72,2b	36,6c	15,4	68,8b	90,1d	21,1cd	5,5
	50	53,8b	66,5a	34,2b	22,3	64,7b	85,5b	25,1c	11,1

^(a,b) Control (C), *A. hypochondriacus* (AH), *A. spinosus* (AS). Media, n=12^(a) n=18^(b). Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%

El análisis sensorial realizado con catadores no entrenados, quienes usualmente eran consumidores de pan integral, aceptaron mayoritariamente los productos desarrollados aunque con puntuaciones menores a las otorgadas a la muestra control (Figura 2). Los panes formulados con 25% de harina integral de amaranto se valoraron con mejores puntuaciones que los formulados con 50%, siendo la harina de *A. hypochondriacus* la más aceptada por presentar “sabor más suave” según evaluación de los consumidores. El 88% de los consumidores aceptaron el pan con 25% de harina de *A. hypochondriacus*, entre valoraciones “Me gusta muchísimo” a “Me gusta un poco” de la escala hedónica, mientras que con el 50% de sustitución solo el 68% de ellos (Figura 2). Con harina integral de *A. spinosus* las puntuaciones fueron menores siendo la aceptación de 58 y 55% para el 25 y 50% de sustitución, respectivamente (Figura 2).

Los catadores describieron el sabor de los productos con alto contenido de harina integral de amaranto como sabor a “humedad”, “moho”, “extraño”, “arena”, “indiferente”, “ligeramente ácido” “no muy agradable”, intentando describir de esta forma un nuevo sabor hasta ahora no percibido, siendo las puntuaciones menores no solo por el sabor sino además por el aspecto de las rebanadas y su palatabilidad.

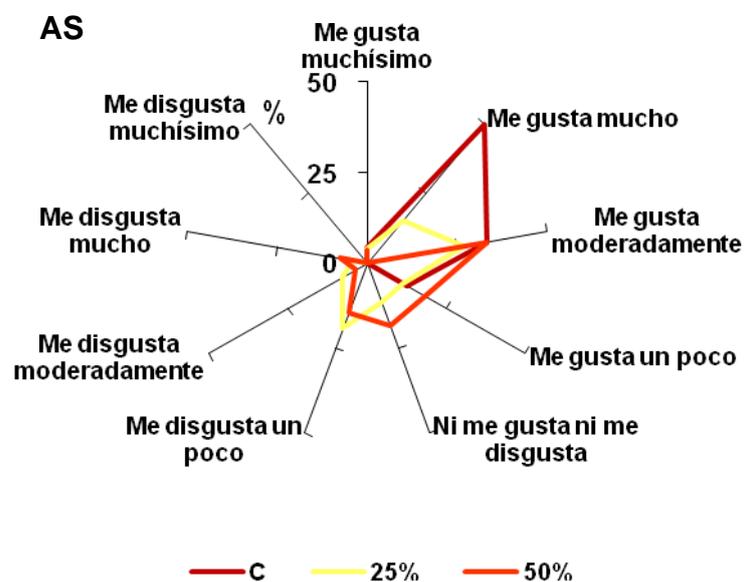
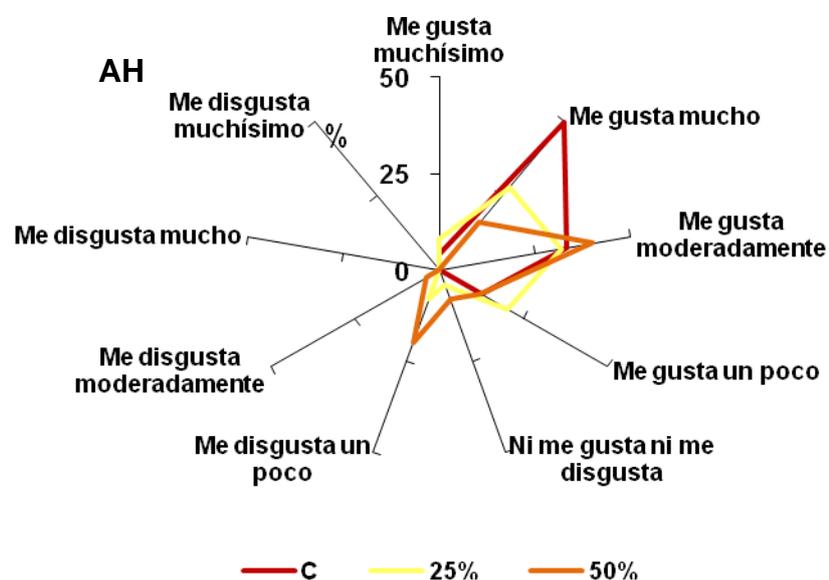


FIGURA 2. Grado de aceptación del pan fresco. **AH.** Sustitución con harina integral de *A. hypochondriacus*. **AS.** Sustitución con harina integral de *A. spinosus*. C: Control, 25 y 50% de sustitución de harina por harina integral de amaranto.

Contenido de fosfatos de *mio*-inositol

Los panes elaborados con harina integral de amaranto mostraron un incremento significativo del contenido de fitatos, siendo éste superior cuando mayor fue la proporción de amaranto en la formulación (Tabla 7). Este resultado era predecible debido a que las harinas integrales contienen alto contenido de fitatos, obteniéndose valores de 18,46 y 21,14 $\mu\text{moles/g}$ en base seca (b.s.) en las harinas de *A. hypochondriacus* y *A. spinosus*, respectivamente. Aunque el contenido de fosfatos de *mio*-inositol con alto grado de fosforilación ($\text{InsP}_6 + \text{InsP}_5$) sea ligeramente superior en la harina de *A. spinosus* (23,46 $\mu\text{moles/g}$, b.s.) en comparación con la harina de *A. hypochondriacus* (20,96 $\mu\text{moles/g}$, b.s.), no hubo diferencias significativas en el pan al mismo grado de sustitución entre ambas especies (Tabla 7). La presencia de estos compuestos tiene efectos adversos en la biodisponibilidad de minerales debido a la formación de complejos insolubles en el tracto gastrointestinal (Kennefick y Cashman, 2000).

TABLA 7. Efecto de la formulación sobre el contenido de fosfatos de *mio*-inositol en el pan fresco^(a,b)

Muestra	Harina	Fosfatos de <i>mio</i> -inositol				
	De	$\mu\text{moles/g}$				
	Amaranto	b.s.				
	%	InsP_6	InsP_5	InsP_4	InsP_3	$\text{InsP}_6 + \text{InsP}_5$
C	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
AH	25	3,65a	0,87a	0,34a	0,27b	4,52a
	50	8,45b	1,59b	0,61b	n.d.	10,05b
AS	25	3,61a	0,75a	0,40a	0,16a	4,36a
	50	8,81b	1,59b	0,61b	n.d.	10,40b

^(a) Control (C), *A. hypochondriacus* (AH), *A. spinosus* (AS), base seca (b.s.), no detectado (n.d.). ^(b)Media, n=4. Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%

InsP_3 a InsP_6 : Fosfato *mio*-inositol conteniendo 3-6 fosfatos por residuo de inositol

Propiedades térmicas del almidón

El DSC se ha empleado para simular el proceso de cocción de la masa fermentada en el horno. Este procedimiento permite estudiar la gelatinización del almidón durante el tratamiento térmico en cápsulas herméticas. Cuando la temperatura de la masa fermentada se incrementó de 30 a 110°C, simulando el horneado, se observaron dos picos endotérmicos en el termograma debido a la gelatinización parcial del almidón en presencia de una cantidad limitada de agua (Jovanovich *et al.*, 1992; Bárcenas *et al.*, 2003). Resultados similares fueron encontrados por otros investigadores, los cuales asignaron el primer pico endotérmico al pico de gelatinización, y el

segundo, a la energía requerida para la fusión de la estructura más estable y cristalina del almidón (León *et al.*, 1997)

En la muestra control el pico correspondiente al proceso de gelatinización parcial de la fase amorfa del almidón se observó entre 62,7 y 75,9°C con un valor de entalpía de 1,581 J/g en la muestra control. El mismo comportamiento fue observado en las masas formuladas con harina integral de amaranto, sin observarse diferencias significativas entre especies, sin embargo, el pico de gelatinización se desplazó a temperaturas superiores (Tabla 8). La adición de harina integral de amaranto aumentó significativamente la entalpía de gelatinización en el caso de las muestras 25AH y 25AS debido probablemente al mayor contenido de agua de las masas. Sin embargo, las muestras formuladas con 50% de harina de amaranto presentaron un descenso significativo en la entalpía, aún cuando contenían mayor contenido de agua en la formulación. Este resultado probablemente se debió al mayor contenido en fibras y alta proporción de almidón de amaranto, el cual puede comportarse diferente al almidón de trigo.

TABLA 8. Gelatinización del almidón en masa fermentada durante la cocción en DSC^(a,b)

Muestra	Harina		T ₀ , °C	T _p , °C	T _f , °C	ΔH _G , J/g
	De	Amaranto				
		%				
C	0		62,7c	68,8a	75,9b	1,581b
AH	25		64,5ab	71,0bc	79,8a	1,852c
	50		65,4a	71,4c	79,1a	1,254a
AS	25		64,2b	70,5b	78,5a	1,666bc
	50		65,1b	71,1bc	78,6a	1,190a

^(a) Control (C), *A. hypochondriacus* (AH), *A. spinosus* (AS), Temperatura de inicio (T₀, °C), Temperatura de pico (T_p, °C), Temperatura final (T_f, °C), entalpía de gelatinización (ΔH_G, J/g). ^(b)Media, n=14. Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%

Las cápsulas con masa fermentada gelatinizada fueron almacenadas a temperatura ambiente a diferentes periodos de tiempo para estudiar la cinética de retrogradación de la amilopectina. Los termogramas registrados mostraron un pico endotérmico, el cual se incrementaba conforme transcurría el tiempo de almacenamiento (Figura 3). Este incremento del pico endotérmico representa la paulatina recristalización de la amilopectina (Biliaderis, 1992). Durante el tiempo de almacenamiento se pudo observar que la muestra control y la muestra 25AH presentaban los valores más elevados de entalpía, los cuales se incrementaron gradualmente, llegando a un valor asintótico de 1,336 J/g y 1,345 J/g respectivamente, mientras que la muestra 25AS hasta 1,222 J/g (Figura 3). La inclusión de harina integral de

amaranto en un 50%, independientemente de la especie utilizada, podría afectar el envejecimiento del pan, debido a que presentaron menores entalpías de retrogradación.

Los cambios físicos ocasionados por la inclusión de harina integral de amaranto, podría inhibir la retrogradación del almidón y por consiguiente su envejecimiento, puesto que la adición de amaranto afecta tanto a los valores de entalpía como a la cinética de retrogradación de la amilopectina (Figura 3). La retrogradación por parte de los alimentos que contienen almidón puede influenciar en la textura y aceptabilidad del alimento (Baker *et al.*, 1998). Por ello, este parámetro está relacionado con el envejecimiento, el cual depende entre otros factores, de la formulación del pan (Bárceñas *et al.*, 2003).

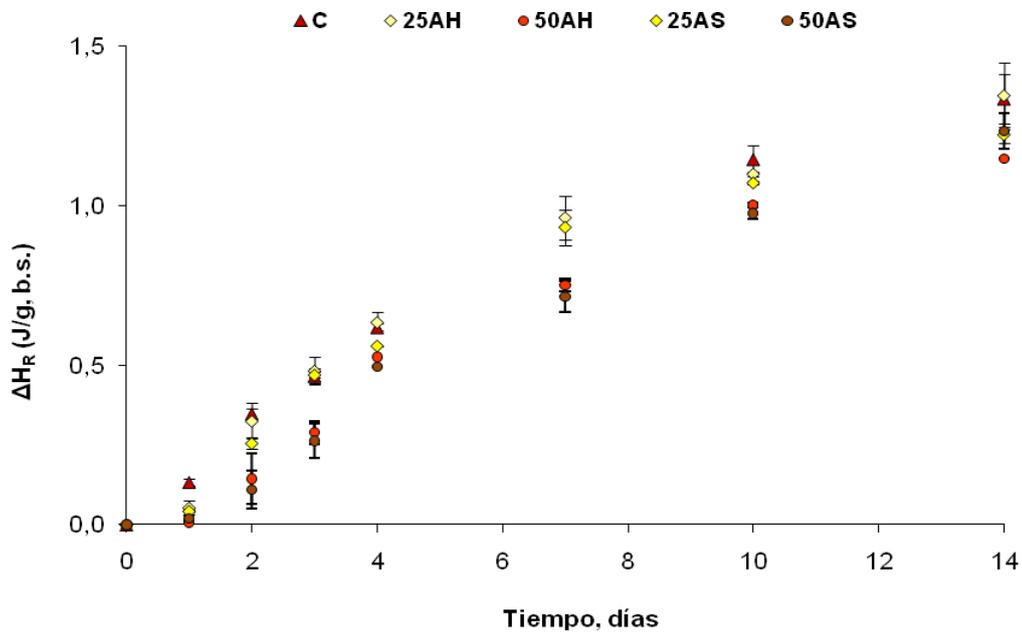


FIGURA 3. Efecto de la inclusión de harina integral de amaranto en la cinética de retrogradación de la amilopectina (ΔH_R , (J/g, b.s.) de las piezas panarias. C: Control, 25AH: 25% *A. hypochondriacus*, 25AS: 25% *A. spinosus*, 50AH: 50% *A. hypochondriacus*, 50AS: 50% *A. spinosus*, b.s.: base seca

CONCLUSIONES

- La harina integral de amaranto, indistintamente de las dos especies estudiadas, podría utilizarse como sustituto de la harina de trigo en la elaboración de pan por incrementar el valor nutricional de los productos desarrollados en cuanto al contenido en fibra dietética, proteínas y minerales, aunque con mayor proporción de fitatos, lo que podría disminuir la biodisponibilidad de éstos últimos.

- La sustitución del 25% de harina por harina integral de amaranto, en las dos especies estudiadas, no produjo grandes cambios en cuanto a los

parámetros de calidad del pan: volumen de la pieza panaria, relación de aspecto de la rebanada central, estructura de la miga, color de corteza y miga, similares a la muestra elaborada con harina. Los panes elaborados con harina integral de *A. hypochondriacus* presentaron alta aceptación, mayor que la aceptación del producto elaborado con *A. spinosus*, por ser una materia prima con sabor más suave.

- La sustitución del 50% de harina por harina integral de amaranto provocó una importante depreciación de la calidad del producto final, afectando profundamente la aceptabilidad por parte de los consumidores en las dos especies estudiadas.

- La inclusión de harina de amaranto produjo cambios en las propiedades térmicas del almidón de la masa, principalmente debido a la inclusión de almidón de distinta fuente, mayor proporción de agua y mayor contenido de fibra, lo que afectaría la disponibilidad de agua en la matriz panaria. Todos estos cambios conllevan a la disminución de la cinética de retrogradación de la amilopectina lo que estaría directamente implicado en el retraso del envejecimiento del pan.

Conclusión general

El *A. hypochondriacus* podría emplearse como sustituto de la harina hasta un 25% para incrementar el valor nutricional de producto sin deterioro importante de su calidad y con alta aceptabilidad por parte de los consumidores.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los Proyectos de Investigación “*Desarrollo de nuevos ingredientes y productos funcionales derivados de cereales*” y “*Aislamiento y caracterización de fitasas procedentes de bifidobacterias para el desarrollo de alimentos funcionales derivados de cereales*”, AGL2006-09613/ALI y 2008701229 respectivamente, Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN), España.

REFERENCIAS

- AACC.1983. Approved methods of the AACC (8th ed.) ST. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. Methods 46-13.
- AOAC. 1991. Total dietary fibre assay procedure. *Megazyme*. Methods 991.43.
- AACC.1995. Approved methods of the AACC (9th ed.) ST. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. Method 44-15A.
- Aleixandre, A.; Miguel, M. 2008. Dietary fiber in the prevention and treatment of metabolic syndrome. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48:905-912.
- Baker, L.A.; Rayas-Duarte, P. 1998. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salt and sugars. *American Association of Cereal Chemists*. 75:308-314.

- Bárceñas, M.A.; Haros, M.; Rosell, C.M. 2003. An approach to studying the effect of different bread improvers on the staling of pre-baked frozen bread. *European Food Research and Technology*. 218:56-61.
- Biliaderis, C.G. 1992. Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Technology*. 6:98-100, 102, 104, 106, 108-109, 145.
- Bodroza-Solarov, M.; Filiociev, B.; Kevresan, Z.; Mandic, A.; Simurina, O. 2008. Quality of bread supplemented with popped *Amaranthus cruentus* grain. *Journal of Food Process Engineering*. 31:602-618.
- Buitrago, L. G.; Torres, C.G. 2000. Respuesta de Cultivares de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en distintos ambientes andinos de Jujuy, Argentina. V Seminario de Integración Subregional. CRISCOS. Iquique, Chile.
- Gamel, T.H.; Linssen, J.P.; Mesallam, A.S.; Damir, A.A.; Shekib, L.A. 2006. Seed treatments affect functional and antinutritional properties of amaranth flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86:1095-1102.
- Giannou, V.; Tzia, G. 2007. Frozen dough bread: Quality and textural behaviour during prolonged storage-Prediction of final product characteristics. *Journal of Food Process Engineering*. 79:929-934.
- Gilbert, E.J. 2002. Medida del color. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Giuseppe, C.; Coda, R.; De Angelis, M.; Di Cagno, R.; Carnevali, P.; Gobbetti, M. 2009. Long-term fungal inhibitory activity of water-soluble extract from *Amaranthus spp.* Seeds during storage of gluten-free and wheat flour breads. *International Journal of Food Microbiology*. 131:189-196.
- Haros, M.; Rosell, C.M.; Benedito, C. 2001. Use of fungal phytase to improve breadmaking performance of whole wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49:5450-5454.
- ICC.1990. Determination of ash in cereals and cereal products. Method 104/1.
- Isserliyska, D., Karadjov, G. and Angelov, A. 2001. Mineral compositions of Bulgarian wheat bread. *European Food Research and Technology*. 213:244-245.
- Jacobsen, S-E.; Iteno, K.; Mujica, A. 2002. Amarantho como un cultivo nuevo en el norte de Europa. *Agronomía Tropical*. 52:109-119.
- Jovanovich, G.; Zamponi, R.A.; Lupano, C.E.; Añon, M.C. 1992. Effect of watercontent on the formation and dissociation of the amylose lipid complex in wheat-flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40:1789-1793.
- Katina, K.; Arendt, E.; Liukkonen, K.-H.; Autio, K.; Flander, L.; Poutanen, K. 2005. Potencial of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science and Technology*. 16:104-112.
- Kennefick, S.; Cahman, K.D. 2000. Inhibitory effect of wheat fibre extract on calcium absorption in Caco-2 cells: evidence for a role of associated phytate rather than fibre *per se*. *European Journal of Nutrition*. 39:12-17.
- León, A.; Durán, E.; Benedito De Barber, C. 1997. A new approach to study changes occurring in the dough-baking process and during bread storage. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 204:316-320.
- Matia Martin, P.; Lecumberri Pascual, E.; Calle Pascual, A.L. 2007. Nutrition and metabolic síndrome. *Revista Española de Salud Pública*. 81:489-505.
- Mujica-Sánchez, A.; Berti Díaz, M. 1997. El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. Cultivos Andinos FAO. *Oficial Regional de Producción Vegetal*. FAO.
- Oszvald, M.; Tamás, C.; Rakszegi, M.; Tömösközi, S.; Békés, F.; Tamás, L. 2009. Effects of incorporated amaranth albumins on the functional properties of wheat dough. *Journal Society of Chemical Industry Food Agricultural*. 89:882-889.
- Sangameswaran, B.; Jayakar, B. 2008. Anti-diabetic, anti-hyperlipidemic and spermatogenic effects of *Amaranthus spinosus*. On streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Natural Medicine*. 62:79-82.
- Sanz-Penella, J.M.; Collar, C.; Haros, M. 2008a. 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, J.A.; Sanz, Y.; Haros, M. 2008b. Mejora nutricional del pan integral. Adición de bifidobacterias productoras de fitasa. *Molinería y Panadería*. 391:16-18.
- Sanz-Penella, J.M.; Tamayo-Ramos, J.A.; Sanz, Y.; Haros, M. 2009a. Phytate reduction in bran-enriched bread by phytase-producing bifidobacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57:10239-10244.
- Sanz-Penella, J.M.; Tamayo, J.A.; Wronkowska, M.; Soral-Smietana, M.; Haros, M. 2009b. Effect of replacing wheat flour by whole amaranth flour on technological and nutritional bread quality. *Book of abstracts of the 4th International Dietary Fibre Conference, Viena, Austria*. pp.182.
- Sanz-Penella, J.M.; Wronkowska, M.; Soral-Smietana, M.; Collar, C.; Haros, M. 2010a. Impact of the addition of resistant starch from modified pea starch on dough and bread performance. *European Food Research and Technology*. DOI: 10.1007/s00217-010-1294-7.
- Sanz-Penella, J.M.; Tamayo-Ramos, J.A.; Haros, M. 2010b. Bifidobacterias como nuevos iniciadores para el desarrollo de pan integral más saludable. *Alimentaria*. 413:49-54.
- Silva-Sánchez, C.; Barba de la Rosa, A.P.; León-Galván, M.F.; De Lumen, B.O.; De León-Rodríguez, A.; De Mejía, E. 2008. Bioactive peptides in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 56:1233–1240.
- Tosi, E.A.; Ré, E.D.; Lucero, H.; Masciarelli, R. 2001. Dietary fiber obtained from amaranth (*Amaranthus cruentus*) grain by differential milling. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 73:441-443.
- Transue, D.K., D.J. Fairbanks, L.R. Robinson y W.R. Andersen. 1994. Plant genetic resources. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 34:1385-1389.
- Zapotoczny, P.; Markowski, M.; Majewska, K.; Ratajski, A.; Henryk, K. 2006. Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. *Journal of Food Engineering*. 76:469-476.