



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD TECNOLÓGICA, NUTRICIONAL Y
SENSORIAL DE PRODUCTOS DE PANADERÍA POR
SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS
INTEGRALES DE CENTENO, ARROZ O QUÍNOA**

**MASTER EN GESTIÓN DE CALIDAD Y SEGURIDAD
ALIMENTARIA**

Autora:
Marta Sancho Robles

Directora:
Dra. Mónica Haros

Tutor:
Isabel Fernández Segovia

Universidad Politécnica de Valencia

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD TECNOLÓGICA, NUTRICIONAL Y SENSORIAL DE PRODUCTOS DE PANADERÍA POR SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR HARINAS INTEGRALES DE CENTENO, ARROZ O QUÍNOA

S. Robles, M. Haros

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar las características tecnológicas y nutricionales del pan elaborado por sustitución de 25 y 50% de la harina de trigo convencional por harina integral de arroz (*Oryza sativa*, L), quínoa (*Chenopodium quinoa*, L) o centeno (*Secale cereale*, L.) Los productos desarrollados se evaluaron en términos de volumen específico, aspecto de la rebanada central, color de la miga y de la corteza, dureza de la miga, contenido de humedad, fibra dietética, fitatos, minerales, cinética de retrogradación de la amilopectina por calorímetro diferencial de barrido, efecto protector frente al estrés oxidativo y evaluación sensorial mediante escala hedónica. En general, la incorporación de las distintas harinas integrales a la formulación mostró diferencias significativas en cuanto a la cinética de retrogradación de la amilopectina en comparación con las muestras control. También repercutió en una disminución del volumen de la pieza panaria que estuvo directamente relacionado con un aumento de la dureza de la miga. No obstante, se observó una alta aceptación global por parte del consumidor. En cuanto a los minerales, el Ca y el Zn podrían estar biodisponibles en todas las formulaciones. Particularmente, la incorporación de quínoa incrementó el contenido de Ca y Zn comparando con las muestras control. Por otro lado, los panes elaborados con centeno mostraron una alta proporción de fibra dietética así como un alto contenido en Ca. En el pan con 25% de harina de arroz se observó un aumento significativo del nivel de trifosfatos de *mio*-inositol, sugiriendo una mayor hidrólisis de fitatos. Es importante considerar que la biodisponibilidad de minerales en los productos integrales está relacionada con el proceso de elaboración del pan, y principalmente por la presencia de fitatos, estando presentes en altas proporciones en las formulaciones con 50% de quínoa y de arroz, por lo que se estima una baja biodisponibilidad de estos minerales.

PALABRAS CLAVE: quínoa, arroz, centeno, pan, biodisponibilidad, minerales, fitatos, evaluación sensorial, retrogradación de la amilopectina.

RESUM

El propòsit d'aquest treball va ser determinar les característiques tecnològiques i nutricionals del pa elaborat per reemplaçament de 25 i 50% de farina de blat per farina d'arròs (*Oryza sativa*, L), quinoa (*Chenopodium quinoa*, L) i sègol (*Secale*

cereale, L.). La qualitat del pa es va avaluar mitjançant els següents paràmetres: volum específic, aspecte de la llesca central, duresa de la molla, color de la molla i de la crosta, humitat, fibra dietètica, fitats, minerals, cinètica de la retrogradació de l'amilopectina per calorímetre diferencial de rastreig, efecte de protecció del estrès oxidatiu i avaluació sensorial mitjançant escala hedónica. L'incorporació de les diferents farines al pa va modificar la cinètica de retrogradació de l'amilopectina en comparació amb la mostra control. També va afectar en una reducció del volum de la peça panaria i en un augment de la duresa. No obstant això, es va observar una alta acceptació global per part del consumidor. En referència als minerals, el Ca i el Zn podrien estar biodisponibles en totes les formulacions de pa estudiades. Particularment, l'incorporació de quinoa va incrementar els nivells de Ca i de Zn en comparació amb les mostres control. El pa elaborat amb el 25% de sègol va mostrar una alta proporció de fibra dietètica així com un contingut en Ca elevat. El pa amb el 25% de farina d'arròs va mostrar un increment significatiu del nivell de trifosfats de *mio*-inositol, suggerint una alta hidròlisi de fitats. No obstant, la biodisponibilitat dels minerals en el pa està relacionada amb el mètode d'elaboració i bàsicament per la presència de fitats, trobant-se en quantitats elevades en el pa amb 50% d'arròs i quinoa i estimant-se una baixa biodisponibilitat d'aquests.

PARAULES CLAU: Quinoa, arròs, sègol, pa, biodisponibilitat, minerals, fitats, avaluació sensorial, retrogradació de l'amilopectina.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the technological and nutritional characteristics of breads formulated with the addition of 25 and 50% of whole rice flour (*Oryza sativa* L), whole quinoa flour (*Chenopodium quinoa* L), and whole rye flour (*Secale cereale* L) in a wheat conventional recipe. 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 firmness, moisture, dietary fibre, phytate content, minerals, kinetic of amylopectin retrogradation by differential scanning calorimeter, study the antioxidant effect and sensory evaluation by hedonic scale. The addition of several whole flours in the recipe produced a decrease on the specific volume and increase on crumb firmness, and the kinetic of amylopectin retrogradation showed significant differences comparing to the control sample. However, it was observed a good sensory product acceptance by consumers. Samples with quinoa significantly increased the levels of Ca and Zn comparing to control sample. On the other hand, breads with whole rye flour showed a high content of fibers (soluble and insoluble) and Ca. Breads made with 25% of whole rice flour presented a high triphosphate of *mio*-inositol. Results showed that it is possible to use up to 25% of whole rice flour in the formulation of bread without losing quality. However, the bioavailability of the minerals in whole grain breads depends of the formulation and breadmaking process, basically by the presence of phytates. In fact, the concentration of phytates significantly increased in breads made with 50% of whole rice or quinoa whole flours decreasing the mineral availability as predicted by inhibitory threshold values for mineral absorption.

KEYWORDS: Quinoa, rice, rye, bread, minerals, phytates, sensory evaluation, amylopectin retrogradation.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años han surgido cambios relacionados con las costumbres alimenticias entre los cuales el interés por los alimentos con cierto valor añadido como son los ricos en fibra dietética, ácidos grasos omega-3, probióticos, y prebióticos, (Naos, 2010). En consecuencia, investigaciones en materia de nutrición apuntan por otras alternativas al uso del trigo para la elaboración de pan.

Actualmente, el centeno (*Secale cereale* L.), se cultiva en todo el mundo y mayoritariamente en Alemania, Rusia, Polonia, Bielorrusia y Ucrania (FAO, 2008). Este grano se caracteriza por su alto contenido en fibra dietética, vitaminas del grupo B, vitamina E, así como distintos minerales. La fibra promueve efectos fisiológicos benéficos incluyendo laxación y atenuación de los niveles de colesterol y glucosa en sangre, disminuyendo la incidencia de enfermedades, coronarias, diabetes tipo-2, y aterosclerosis, todas ellas precedidas de lo que se reconoce como síndrome metabólico y trastornos gastrointestinales, entre otras (Escudero y González, 2006). Es por ello, que el pan con harina de centeno, está considerado uno de los productos mejor dotado para la prevención de algunas de estas enfermedades (Llanos, 2001).

Por otro lado, el arroz (*Oryza sativa* L.) es un alimento básico para gran parte de la población mundial representando en torno al 50% de la producción de granos. Aproximadamente el 90% es producido y consumido en Asia, pero América Latina es la segunda en producción y tercera en consume de este cereal (Brasil, 2007). Particularmente en Brasil el consumo de arroz es superior al de trigo debido a la limitada producción de éste, lo que conlleva al incremento de las importaciones de este cereal para la producción de productos de panadería (Brum y Heck, 2005). Además, en poblaciones de regiones tropicales y sub-tropicales, el arroz es un cereal de alto rendimiento y bajo coste, siendo un cultivo prometedor para la preparación de productos de panadería (Nakamura *et al.*, 2009). De hecho, el pan elaborado con harina de arroz integral supone una excelente fuente de energía y nutrientes (Heinemann *et al.*, 2005), además de contener un amplio espectro de compuestos fenólicos, incluyendo derivados de los ácidos benzoico y cinámico, los cuales están dotados de múltiples actividades biológicas (Chun *et al.*, 2005).

No obstante, existen otros granos que aunque no pertenecen a la misma familia botánica que los cereales poseen una composición muy similar, por lo pueden ser usados para el mismo fin. La quínoa (*Chenopodium quinoa* L.) es un pseudocereal perteneciente a la familia de las *Chenopodioideae*. Aunque es un cultivo originario de la región de los Andes en Sudamérica a día de hoy se exporta a Europa y Estados Unidos, y se produce mayoritariamente en Perú, Bolivia y Ecuador (FAOSTAT, 2008). Desde el punto de vista nutricional, supone una importante fuente de fibra dietética, minerales tales como el Ca, Mg, Zn y Fe (Alvarez-Juvete *et al.*, 2009) y vitamina E (Ryan *et al.*, 2007) la cual posee un efecto protector frente a la oxidación lipídica (Ng *et al.*, 2007). Además de destacar por su alto contenido proteico (16,3%) respecto al arroz (7,5%) y más cercano al trigo (15,4%) (Abugoch *et al.*, 2008) el balance en aminoácidos esenciales que posee es equilibrado (Comai *et al.*, 2007). Otro aspecto a destacar es el alto contenido en ácidos grasos esenciales tales como el oleico (25%) y el linoleico (50%) (Alvarez-Juvete *et al.*, 2009). Particularmente el ácido α -linoleico, el cual se encuentra en altas proporciones en las semillas de quínoa (8,3%), está implicado en la

prevención de distintas enfermedades degenerativas como son las enfermedades cardiovasculares, osteoporosis y algunos tipos de cáncer entre otras (Simopoulos, 2001). Otros componentes bioactivos presentes en la quínoa son los compuestos polifenólicos y en concreto los flavonoles, también relacionados en la prevención de distintas enfermedades degenerativas, los cuales poseen capacidad antioxidante (Zhu *et al.*, 2001). Desde el punto de vista tecnológico, debido a las distintas propiedades funcionales del almidón de la quínoa, entre otros usos, puede emplearse en la elaboración de pan por sustitución de harina de trigo (Berti *et al.*, 2004). Además las proteínas presentes en la quínoa, así, como en el arroz, están compuestas mayoritariamente de albúminas y globulinas, y de una proporción insignificante de prolaminas, las cuales están implicadas en la formación del gluten. Por tanto, es posible su utilización en formulación de productos aptos para celíacos y a su vez revalorizar su cultivo para ser introducido en la alimentación de poblaciones con riesgo nutricional (Del Castillo *et al.*, 2009).

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue desarrollar productos de panadería con mayor valor nutricional por sustitución de harina de trigo convencional por harina integral de quínoa, arroz, o centeno, como alternativas a éste. Con este fin se investigó el efecto de la sustitución del trigo en la calidad de los productos desarrollados desde el punto de vista tecnológico, sensorial y nutricional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

En la elaboración de los productos de panadería se utilizó harina, harina integral y harina integral de centeno obtenidas en el comercio (La Meta , S.A. España), harina integral de arroz (Cerealle Indústria e Comercio de Cereais Ltda, Pelotas, Brasil), y harina integral de quínoa (Ecobasic - Bio, S.L. España). Para el desarrollo de la masa se empleó levadura prensada comercial (*Saccharomyces cerevisiae*, Levamax, España), agua potable y sal común.

Métodos

DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA

Se evaluaron las propiedades de la masa mediante un Farinógrafo (Brabender, Duisburg, Alemania). Se utilizaron 300g de cada formulación que junto con el resto de ingredientes fueron amasados en la amasadora del farinógrafo, termostatado a 30°C hasta obtener 500 Unidades Brabender (UB).

FORMULACIÓN DE LA MASA Y PROCESO DE PANIFICACIÓN

La formulación básica empleada en la elaboración de pan en base a 500g de harina consistió en harina al 100% (control), harina integral al 100 % y mezclas por sustitución de harina por 25% o 50% de harina integral de centeno, harina integral de arroz o harina integral de quínoa. A todas las formulaciones se les adicionó sal al 1,6%, levadura panaria al 5% y agua potable correspondiente a consistencia óptima según farinógrafo de Brabender (Anexo - Tabla 1).

Para la elaboración de la masa se empleó el método esponja. Para ello se preparó una primera masa de 250g de harina, a la que se le agregó el 50% del agua total a añadir y 25g de levadura. Seguidamente se dejó fermentar durante 24 horas en refrigeración. Concluida esta etapa, se adicionaron el resto de los ingredientes y se mezclaron en amasadora (Mahot, Francia) hasta el desarrollo de la masa. Posteriormente, la masa se dejó reposar durante 10 minutos y se dividió en piezas de 100g a las que se les efectuó un formado manual hasta adquirir una forma esférica. 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. A continuación, las piezas se hornearon en horno eléctrico (Eurofours.59144 Gommegnies, Francia) bajo condiciones controladas de tiempo y temperatura según formulación (Anexo - Tabla 1). Finalmente, los panes fueron enfriados a temperatura ambiente durante una hora para su posterior análisis. Los experimentos fueron realizados por duplicado.

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS DESARROLLADOS

Se determinó la composición química de las materias primas en términos del contenido de humedad (AACC 54-21, 1995), cenizas por ignición a 910°C (ICC 104/1, 1990), el contenido en lípidos (AACC 30-20, 1967) contenido de proteínas por el método semimicro de Kjeldhal (AACC 46-13, 1983) y el contenido de fibra dietética soluble e insoluble (AOAC 991.43, 1991). La concentración 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 siguiendo el método descrito por Türk y Sandberg.,1992 y más tarde modificado por Sanz-Penella *et al.*, 2008. Los ensayos se realizaron por duplicado.

Los productos de panadería se caracterizaron en términos de humedad, fibra dietética (soluble e insoluble) y fosfatos de *mio*-inositol, realizándose los ensayos por triplicado.

La determinación de minerales consistió inicialmente en una etapa de digestión ácida de harina o pan en reactores de teflón empleando ácido nítrico concentrado y agua oxigenada al 30% en proporciones 1:4, digiriéndose en un horno de microondas (Mars X, Cempor, USA). Se aplicó un ciclo de calentamiento de 180°C durante 15 min y posterior enfriamiento durante el mismo tiempo. Seguidamente, la disolución obtenida se aforó a 10 ml con HCl al 5% (v/v). Las muestras líquidas fueron analizadas por espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. Los ensayos se realizaron por cuadruplicado.

PARÁMETROS TECNOLÓGICOS DE LOS PRODUCTOS DESARROLLADOS

Se analizó el volumen específico de la pieza panaria (cm^3/g), la relación de aspecto de la rebanada central (cm/cm) y dureza de la miga (N), a partir del análisis del perfil de textura de la miga por medio de un texturómetro TA-XT plus (Stable Micro System, Surrey, Reino Unido) (Haros *et al.*, 2001).

El análisis del color de la corteza y la miga se determinó por medio de un colorímetro (CR-400, Konika Minolta Sensing, Japón). Los parámetros evaluados pertenecientes al espacio cromático CIElab fueron: L^* , luminosidad; a^* , variación de rojo a verde y b^* , que representa la variación de amarillo a azul. A partir de estos parámetros 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 por triplicado en tres diferentes puntos de las piezas panarias en tres muestras de pan, $n=9$ (Anexo – Tabla 2).

Las propiedades térmicas del almidón de la masa panaria durante el proceso de cocción y durante el almacenamiento del pan se analizaron por medio de un calorímetro diferencial de barrido (DSC7, Perkin Elmer). Inicialmente, el equipo fue calibrado con indio y zinc tomando como referencia una cápsula vacía de acero inoxidable (LVC 0319-0218, Perkin Elmer). Seguidamente las muestras de masa fueron pesadas en balanza de alta precisión, encapsuladas y selladas mediante prensado. Para simular el perfil de temperaturas en el centro de la miga de la pieza panaria durante su horneado, se emplearon las siguientes condiciones: 1. isoterma a 30°C durante 1 min, 2. ciclo de calentamiento desde 30 a 100°C a una velocidad de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 3. isoterma a 100°C durante 5 minutos y 4. un ciclo de enfriamiento desde 100 hasta 30°C a una velocidad de $50^\circ\text{C}/\text{min}$ (Sanz-Penella *et al.*, 2010). Para estudiar la retrogradación de la amilopeptina, las muestras se almacenaron a 4°C durante 0, 1, 2, 3, 5, 7 y 14 días. Concluido cada intervalo de tiempo, a cada muestra se le aplicó un nuevo ciclo de calentamiento desde 30 a 130°C a una velocidad de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ (Sanz-Penella *et al.*, 2010). Los parámetros evaluados fueron la temperatura inicial, temperatura de pico, temperatura final y entalpía de gelatinización y de retrogradación en J/g de masa, representadas por el área bajo la curva del pico endotérmico correspondiente.

DETERMINACIÓN DE LA RESPUESTA FRENTE AL ESTRÉS OXIDATIVO

Para el estudio de la respuesta frente al estrés oxidativo de los componentes fitoquímicos de los panes desarrollados se empleó *Saccharomyces cerevisiae* como microorganismo modelo (Peláez *et al.*, 2013). Cada muestra de pan parcialmente deshidratada a temperatura ambiente y molida fue sometida a extracción con solución metanol:agua en proporción 80:20 (v:v). Seguidamente, el extracto obtenido se centrifugó recogiendo el sobrenadante, el cual fue concentrado en rotavapor para eliminar el metanol y parte del agua hasta obtener un volumen final de 6 ml. A continuación los extractos se dosificaron en medio YPD (5 y 10%) y fueron inoculados con la cepa de levadura BY4741, previamente incubada durante 6 horas a 28°C . El preparado se incubó nuevamente durante 16 horas en las condiciones de temperatura anteriormente descritas. Finalizada esta etapa, para estudiar el efecto protector de los compuestos bioactivos de los productos de panadería, los microorganismos fueron expuestos a estrés oxidativo

con soluciones de peróxido de hidrógeno a diferentes concentraciones (0,0; 1,0; 2,5 y 5,0 mM) durante 90 minutos a 28°C. Posteriormente, las células fueron centrifugadas, lavadas con tampón fosfato y resuspendidas en medio YPD. Se incubaron en placa multipocillo a 28°C durante 36-48 hs registrándose a intervalos regulares de tiempo la D.O. a 600 nm en un espectrofotométrico de placas (BMG Labtech Omega Spectrostar, Thermo Scientific, USA).

ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial se llevó a cabo con la participación de 50 catadores no entrenados. La aceptabilidad de cada producto desarrollado por los consumidores se evaluó mediante una escala hedónica de nueve puntos: 9. Me gusta muchísimo, 8. me gusta mucho, 7. me gusta moderadamente, 6. me gusta poco, 5. ni me gusta ni me disgusta, 4. me disgusta poco, 3. me disgusta moderadamente, 2. me disgusta mucho, 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

Caracterización de las materias primas.

En lo que se refiere a la caracterización de las materias primas tal y como muestra la Tabla 1, se observó que el mayor contenido en proteínas lo mostró la harina de trigo refinada. Esto se debió principalmente a su alto contenido en gluten en comparación con el resto de cereales estudiados y particularmente al tratarse de una harina de fuerza ($W=280 \times 10^{-4}$ J). Seguidamente se situaron la harina integral de trigo y la harina de quínoa. Según la bibliografía, cabría destacar que las proteínas presentes en la quínoa poseen gran calidad debido al balance de aminoácidos que contienen, pudiendo aportar un valor añadido al producto final (Comai *et al.*, 2007).

Por otro lado, la harina de quínoa, al tratarse de un pseudocereal, presentó una proporción de lípidos superior al resto de materias primas (7,5%). Esto implicaría a su vez, un alto contenido en ácidos grasos esenciales con alto valor biológico, tales como el oleico y el linoleico (Alvarez-Juvete *et al.*, 2009).

En relación al contenido de cenizas, en la harina de quínoa se observó una proporción muy superior en comparación con el resto de materias primas. Estos resultados están directamente relacionados con el elevado contenido en minerales que presentó, especialmente en hierro y zinc.

Con respecto al calcio, la harina de centeno destacó por su alto contenido (Tabla 1). Este cereal también sobresalió por su alta proporción en fibra dietética, la

cual fue estadísticamente muy superior en comparación con el resto de materias primas (Llanos, 2001).

Tabla 1. Composición química de las materias primas empleadas en este estudio en la elaboración de pan

Parámetro	Unidades ^c	Harinas				
		Trigo	Trigo Integral	Arroz Integral	Quinoa Integral	Centeno Integral
Humedad ^a	%	14,5±0,01	14,0±0,02	10,9±0,01	10,3±0,01	12,6±0,03
Proteínas ^a	%	13,51±0,10	11,66±0,03	8,14±0,06	11,04±0,04	8,85±0,02
Cenizas ^a	%	0,63±0,01	1,36±0,00	1,45±0,00	2,69±0,00	1,35±0,00
Lípidos ^a	%	1,37±0,02	1,68±0,02	2,42±0,03	7,45±0,12	1,17±0,11
Fitatos ^a	μmoles/g	n.d.	7,64±0,02	10,56±0,03	9,28±0,19	7,32±0,59
Fibra total ^a	%	3,4±0,2	8,3±0,1	3,7±0,2	6,7±0,2	14,4±0,1
Ca ^b	mg/100g	15,3±0,5	35,0±1,0	22,1±0,1	32,7±0,7	95,7±0,7
Fe ^b	mg/100g	1,29±0,09	2,87±0,39	0,86±0,09	4,65±0,11	3,58±0,14
Zn ^b	mg/100g	1,61±0,23	3,31±0,09	2,605±0,04	5,03±0,07	4,27±0,13

^aMedia±DS, n= 2; ^bn=4. ^cExpresados en base seca

En contrapartida, respecto a la concentración en fitatos, la harina de arroz seguida de la de quínoa, presentaron una concentración superior en comparación con las harinas de trigo y centeno, lo que podría afectar a la biodisponibilidad de los minerales.

Efecto de la inclusión de las distintas materias primas en las características tecnológicas de los productos desarrollados

La Tabla 2 muestra la influencia de las distintas materias primas en las características tecnológicas del producto final. La humedad final de los productos desarrollados con harinas integrales mostró un escaso incremento, en algunos casos significativo, a pesar de la inclusión de salvado en las formulaciones. Esto se debe fundamentalmente a que en la formulación base de cada uno de estos productos se empleó harina de fuerza, con una gran proporción de proteínas, como se comentó anteriormente.

La adición de las distintas harinas provocó una disminución significativa en cuanto al volumen de la pieza panaria en función del porcentaje de sustitución (Tabla 2). Así pues, el menor volumen y mayor dureza de la miga, lo presentaron las formulaciones con 50% de incorporación de harina de arroz, quínoa y centeno (Anexo – Figuras 1, 2, 3). Al tratarse de harinas integrales la presencia de salvado interfirió en la formación de la red de gluten afectando al desarrollo del volumen y a la estructura de la miga. 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).

Particularmente, para el caso del arroz y de la quínoa este efecto se debió fundamentalmente a que carecen de gluten, por lo tanto sus características viscoelásticas son muy diferentes al trigo así como una baja proporción, incluso insignificante, de proteínas implicadas en la formación del gluten (Del Castillo *et al.*, 2009; Alvis *et al.*, 2011). Sin embargo, la relación de aspecto de la rebanada central no quedó afectada por la inclusión de las distintas harinas a la formulación, exceptuando los panes adicionados con el 50% de centeno. La adición del 25% de quínoa, arroz y centeno incluso mejoró ligeramente la relación de aspecto en comparación con los controles de trigo (Anexo – Figuras 1, 2, 3).

Evaluación sensorial y aceptación por parte del consumidor

La Tabla 2 muestra la puntuación media obtenida para cada formulación por parte de los consumidores. Los resultados verifican que la mayor aceptación corresponde al pan elaborado con 25% de harina integral de centeno seguido de los panes control de trigo, situándose en el nivel correspondiente a 8 puntos (“me gusta mucho”). En un valor medio de 7 puntos dentro de la escala hedónica y por tanto en un grado inferior de aceptabilidad (me gusta moderadamente), se situaron los panes adicionados con harina de quínoa (25 y 50%), arroz (25 y 50%) y centeno (50%). Estos resultados indican que existe una pérdida de calidad sensorial ocasionada por la inclusión de estas harinas. El principal defecto detectado por el consumidor en los panes con un 50% de quínoa y de arroz fue la textura definida como “densa” o “compacta” y particularmente en el pan con quínoa se reconoció un sabor “típico a legumbre”. La proporción de sustitución de harina de trigo por las distintas materias primas no ocasionó grandes cambios en cuanto a la aceptación global por parte del consumidor, aunque sí disminuyó ligeramente la puntuación media obtenida.

Efecto de la inclusión de las distintas materias primas en la composición química de los productos desarrollados

La Tabla 2 recoge los valores obtenidos en cuanto a la composición química de los panes estudiados. Debido a las diferencias encontradas en cuanto a la composición química de las distintas materias primas, el producto final, se vio influenciado en el mismo sentido. Los productos a los que se les incorporó harina integral de quínoa o harina integral de arroz presentaron un contenido en fibra total significativamente inferior al pan control elaborado con harina integral de trigo. Sin embargo, en relación al contenido en fibra dietética soluble, estos panes no presentaron diferencias significativas al pan especial elaborado con harina integral de trigo, por lo tanto son equivalentes en cuanto al contenido de este componente. Por otra parte, la inclusión de harina integral de centeno mostró un aumento significativo en la proporción de fibra dietética en relación con el resto de productos desarrollados, presentando los valores más elevados, como lo indicaba su harina (Tabla 1).

En cuanto al efecto de la formulación en el contenido de fitatos residual y de fosfatos de *mio*-inositol de menor grado de fosforilación generados durante la fermentación panaria también los resultados también se muestran en la Tabla 2. Como cabría esperar no se han detectado fosfatos de *mio*-inositol en la formulación

de pan blanco. El contenido de fitatos disminuyó drásticamente respecto al valor inicial y teniendo en cuenta las proporciones de cada una de ellas en las formulaciones de pan integral y adicionadas con harina integral de arroz. Esto se debió fundamentalmente a la actividad fitasa endógena de las propias harinas, las cuales se activan durante las etapas de amasado, reposo, fermentación y primera etapa de cocción (Lopez *et al.*, 2001). La incorporación de harina de centeno integral disminuyó el contenido de fitatos iniciales ligeramente, mientras que la incorporación de harina integral de quínoa no provocó el mismo efecto (Tabla 2).

Teniendo en cuenta que el pentakisfosfato de *mio*-inositol (InsP_5) también causa efectos inhibitorios en la biodisponibilidad mineral se observó que el mayor contenido de $\text{InsP}_6 + \text{InsP}_5$ lo presentó el pan elaborado con 50% de harina integral de quínoa, seguido del pan con el 50% de harina integral de arroz, mostrando valores significativamente superiores al resto de formulaciones, a diferencia de la formulación con 25% de harina de centeno, la cual presentó la menor concentración. Por otro lado, el contenido de trisfosfato de *mio*-inositol (InsP_3), el cual está implicado en numerosas funciones biológicas en nuestro organismo, fue estadísticamente mayor en el pan integral, seguido del pan elaborado con 25% de harina de arroz (Tabla 2).

Desde el punto de vista nutricional y funcional, los fosfatos de *mio*-inositol de menor grado de fosforilación como es el caso del InsP_3 , afectan en menor medida o no afectan la biodisponibilidad de minerales, sino que desempeñan diversas acciones beneficiosas en el organismo dotadas de efectos farmacológicos tales como: antiinflamatorios, prevención de complicaciones diabéticas, implicación en el crecimiento y diferenciación celular, así como la regulación del calcio intracelular, entre otras funciones (Shi y col, 2006). Por tanto, es más recomendable consumir productos que presentan una hidrólisis avanzada de fitatos con acumulación de InsP_3 (Sanz-Penella *et al.*, 2009; Haros *et al.*, 2009). Estos resultados muestran que el pan con 25% de harina de arroz, presentó una mayor acumulación de InsP_3 , sugiriendo una mayor hidrólisis de InsP_6 durante el proceso.

Efecto de la formulación en el aporte de Fe, Ca y Zn en la ingesta diaria recomendada y predicción de la biodisponibilidad mineral

La Tabla 3 muestra el efecto de la incorporación de las distintas harinas en el contenido de calcio, hierro y zinc, así como los porcentajes teóricos de la contribución de cada mineral en base a una ingesta diaria de 250g de pan acorde con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. Las formulaciones con 50% de harina integral de quínoa y centeno mostraron concentraciones notablemente superiores de Fe y Zn que el resto de productos. Estos resultados no presentaron diferencias significativas con los obtenidos en pan integral a pesar de la menor proporción de harinas integrales (quínoa o centeno) en la formulación. Por tanto, se podría considerar el aporte en Fe o Zn de estos productos casi equivalente como muestra su porcentaje de contribución por cada 250 g de pan a la ingesta diaria recomendada (Tabla 3). Con relación al Ca, destacaron por su alto contenido, las formulaciones a las que se les incorporó harina integral de centeno siguiendo la misma tendencia observada en la materia prima.

Además, resulta importante considerar que los panes elaborados con 50% de harina integral de quínoa también presentan concentraciones significativamente superiores al pan integral y resto de formulaciones. Por el contrario, los productos formulados con harina de arroz presentaron contenidos en Fe, Zn y Ca estadísticamente inferiores a los panes con harina integral de trigo. A pesar de que la harina de arroz integral presenta mayores contenidos de calcio y zinc que la harina blanca, en las formulaciones en las que fue adicionada no se observó la misma tendencia. Por otro lado se observó un descenso en el contenido de hierro (Lamberts *et al.*, 2007)

Resulta importante conocer el aporte a la ingesta diaria recomendada de estos productos. Pero, aún es más relevante predecir si su biodisponibilidad se encontrará comprometida o no por sustancias inhibitorias de la absorción de minerales. Asimismo, el grado en que estos minerales pueden ser absorbidos por el organismo está íntimamente ligado a la presencia de fitatos, debido a su poder quelante. Por tanto, se han establecido valores umbral de las relaciones molares entre el fitatos y minerales a partir de los cuales comenzaría la inhibición de los mismos en el tracto gastrointestinal. Para el caso del hierro su valor umbral correspondería a un ratio molar de 1,0 (Ma *et al*, 2005; Hurrell, 2004), en cuanto al calcio, el umbral de biodisponibilidad se encuentra en valores de ratios molares hasta 0,24 (Ma *et al*, 2005). y para el zinc hasta ratios molares de 15 (Ma *et al*, 2005).

En el caso del hierro, se observó que especialmente las formulaciones con harina de quínoa y harina de centeno cubrirían el 70 y 98% de los requerimientos de este mineral en hombres, y entre un 30 y 43% de los requerimientos para las mujeres del total de la ingesta diaria recomendada en base a 250 g de pan, respectivamente. En particular, el pan elaborado con un 50% de quínoa presentó el mayor porcentaje de contribución, no habiendo apenas diferencias con respecto al pan integral común. En contraposición, este mineral no se encontraría disponible en su totalidad en ninguno de los casos, de acuerdo con el umbral de inhibición, establecido. Por tanto, sería más recomendable el consumo del pan adicionado con el 25% de harina de centeno, puesto que presentó un ratio molar inferior en comparación con el resto de formulaciones, afectando en menor medida la biodisponibilidad de hierro (Tabla 3).

En el caso del calcio, éste se encontraría biodisponible en todas las formulaciones estudiadas. Entre ellas cabría destacar los panes elaborados con centeno, ya que su consumo correspondería a un aporte del 48% de la ingesta diaria recomendada en adultos. Este valor resultó ser más de dos veces superior al del pan de trigo. También es importante considerar el porcentaje de contribución que presentó la formulación con 50% de harina integral de quínoa, proporcionando en este caso el 29% de la ingesta diaria recomendada, superior a los valores encontrados en los productos elaborados con harina de trigo.

El zinc se presentaría biodisponible en todas las formulaciones ensayadas. La formulación con 50% de harina integral de quínoa destacó por la alta proporción de este mineral contribuyendo a la ingesta diaria recomendada en 75% en hombres y 100% en mujeres (Tabla 3).

Propiedades térmicas del almidón durante la cocción y almacenamiento de las piezas panarias

En la Tabla 4 se muestra el efecto de la formulación sobre la gelatinización del almidón durante el horneado simulado en el calorímetro diferencial de barrido.

La incorporación de harina integral de quínoa provocó una disminución en el intervalo de temperaturas de gelatinización con respecto al pan control de harina de trigo refinada, mostrando un comportamiento similar al pan control elaborado con harina de trigo integral. Por el contrario, en las muestras adicionadas con harinas integrales de centeno y arroz no se observaron diferencias significativas entre las formulaciones ensayadas y en el producto elaborado con harina de trigo refinada (control). La gelatinización del almidón está relacionada con varios factores como son el tamaño y la forma de los gránulos, el grado de organización de la red cristalina (Inouchi *et al.*, 1999) o el contenido en amilosa (Lindeboom, 2005). El tamaño de los gránulos del almidón presente en la quínoa así como la proporción de amilosa es inferior respecto a otros cereales entre ellos el arroz, pudiendo afectar a las temperaturas de gelatinización. Por otro lado, la entalpía de gelatinización tiende a ser significativamente superior en las muestras con harina de quínoa debido a su alta proporción de lípidos. Generalmente, la presencia de lípidos favorece la formación del complejo lípido-amilosa, confiriendo una mayor estabilidad granular que se traduce en una mayor entalpía de gelatinización (Mondragón *et al.*, 2006).

En el segundo ciclo de calentamiento tras el almacenamiento en refrigeración, 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. Tras el almacenamiento se registró la evolución de la entalpía de retrogradación de la amilopectina, debido a que es uno de los principales mecanismos involucrados en el envejecimiento del pan. La entalpía de retrogradación se incrementó gradualmente con el tiempo de almacenamiento en todas las formulaciones ensayadas (Figura 2). Al cabo de dos semanas la muestra control de harina de trigo refinada, presentó los valores más elevados de entalpía de retrogradación, con valores cercanos a 3 J/g de masa. Esto indicaría un mayor endurecimiento de la miga de este producto con el almacenamiento. En general, las formulaciones adicionadas con harinas integrales mostraron menores valores de entalpías de retrogradación. Especialmente las formulaciones adicionadas con 50% de harina de quínoa o harina de arroz mostraron la menor entalpía de retrogradación, con valores asintóticos de 2,5 J/g de masa.

Esto indicaría que estas dos formulaciones presentarían mayor vida útil comparado con los panes control de trigo. No obstante, profundizando en los resultados al cabo de 3 días de almacenamiento (Tabla 4), el pico endotérmico de retrogradación de las muestras de trigo, se encuentran entre 42,4-73,3°C y 41,9-72,8°C siendo su entalpía de retrogradación de 2,4 y 2,1 J/g de masa en la muestra con harina refinada y harina integral, respectivamente. Se observa, que el pan adicionado con 50% de harina integral de quínoa presenta una entalpía de retrogradación de la amilopectina significativamente menor (1,6 J/g de masa) al resto de formulaciones seguido del pan adicionado con un 50% de harina integral de arroz (1,8 J/g de masa) (Figura 2). La alta proporción de aceite presente en la quínoa pudo interferir en la recristalización de la amilopectina, lo que favoreció a

una disminución significativa de la velocidad de envejecimiento del pan (Mondragón *et al*, 2006).

La presencia de fibras en la formulación también produce alteración del balance de agua entre los distintos componentes de la miga favoreciendo en mayor o menor medida la velocidad y la magnitud del fenómeno de la retrogradación de la amilopectina.

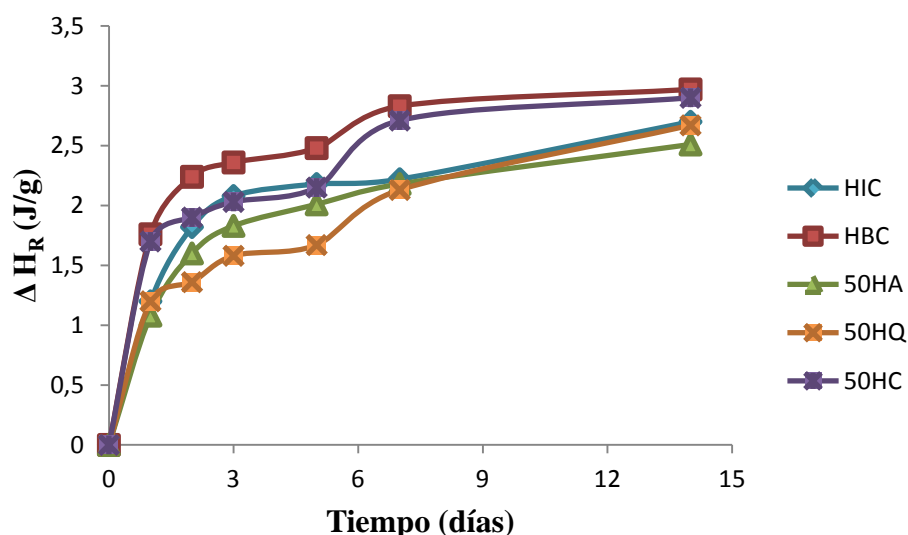


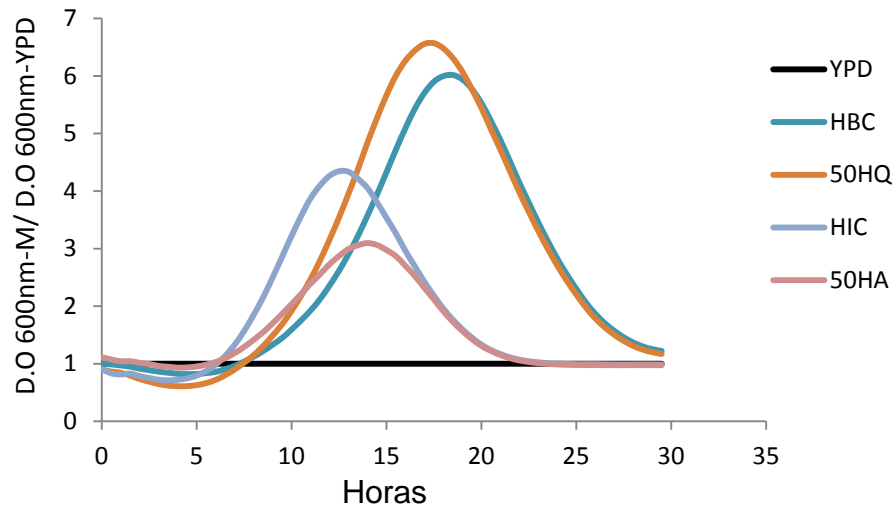
Figura 2. Efecto de la adición de las distintas harinas en la cinética de retrogradación de la amilopectina (ΔH_R , J/g masa) durante el almacenamiento a 4°C. HBC: 100% de harina de trigo refinada; HIC: 100% de harina integral de trigo; 50HA: 50% de harina de arroz integral; 50HQ: 50% de harina de quínoa integral; 50HC: 50% de harina de centeno integral.

Efecto de la formulación de productos de panadería frente a al estrés oxidativo

La adición de extractos procedentes de los distintos panes mostraron un efecto positivo al estrés oxidativo, en las muestras control de harina de trigo refinada e integral y en las formulaciones con el 50% de harina de quínoa y 50% de harina de arroz. El incremento de la concentración del extracto en el medio de crecimiento no presentó diferencias significativas (datos no mostrados). Los extractos del resto de formulaciones no mostraron indicios de protección frente al estrés. La Figura 3 muestra las diferencias encontradas tras someter a las levaduras a estrés oxidativo relativa a la muestra control sin extracto. Se puede observar que la respuesta fue superior en los casos tratados con extractos fenólicos con respecto al blanco (YPD), en el que las levaduras fueron inoculadas únicamente en este medio de cultivo. Por otro lado, la adición de solución de peróxido de hidrógeno en diferentes concentraciones (1,0; 2,5 y 5,0 mM) afectó en la cinética de crecimiento celular, provocando una ralentización a medida que se incrementó esta concentración (Anexo - Figura 4). Estos resultados están en concordancia con estudios previos realizados (Zhu *et al.*, 2001; Gorinstein *et al.*, 2008) los cuales encontraron que

compuestos de naturaleza fenólica presentes en la quínoa y cereales podrían presentar efecto protector frente al estrés oxidativo.

3A



3B

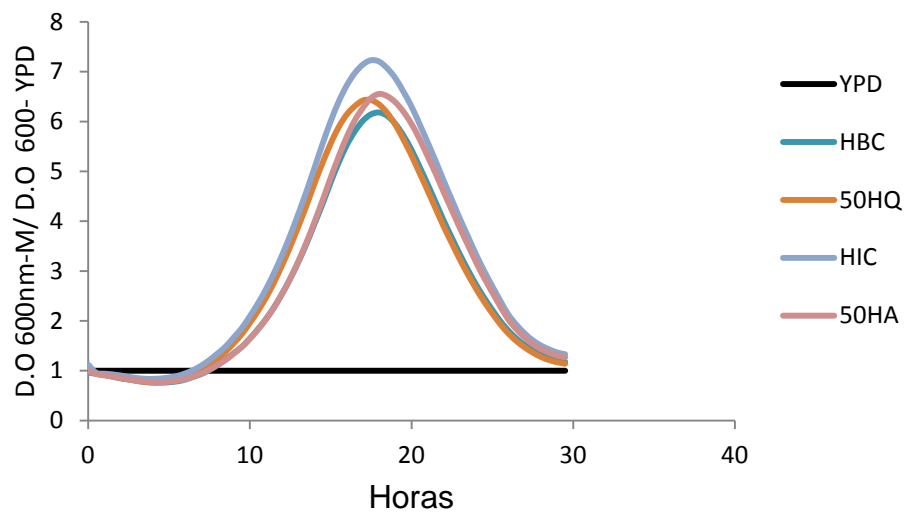


Figura 3: Efecto de las distintas formulaciones en la respuesta al estrés oxidativo de *Saccharomyces Cerevisiae* en medio YPD y tratadas con extractos de los panes estudiados. HBC: pan control con harina de trigo ; HIC: pan control con harina integral de trigo; 50HA: pan con 50% de harina de arroz integral; 50HQ: pan con 50% de quínoa. Tratamiento con solución de H₂O₂ 2,5 mM y 5,0 mM (Fig. 3A y 3B, respectivamente).

Tabla 2. Efecto de la formulación de pan en la composición y calidad de los productos desarrollados^{ab}

Parámetro	Unidades	Harina de Trigo 100%		Harina Integral de Arroz		Harina Integral de Quinoa		Harina Integral de Centeno	
		Refinada	Integral	25%	50%	25%	50%	25%	50%
Humedad ¹	%, b.s.	33,4±0,3b	33,4±0,9b	34,1±0,4b	35,3±0,6c	33,5±0,1b	33,0±0,0ab	33,1±0,1ab	34,2±0,3b
Vol. Específico ²	ml/g	4,48±0,46g	3,83±0,24e	2,86±0,22c	2,26±0,02a	3,46±0,04d	2,63±0,05bc	4,11±0,07f	2,58±0,07b
Relación Aspecto ²	cm/cm	1,65±0,14cd	1,66±0,14cd	1,54±0,03b	1,71±0,05cd	1,54±0,03b	1,62±0,05bc	1,52±0,08b	2,00±0,05e
Dureza ²	N	0,77±0,09a	1,03±0,05b	1,90±0,14d	3,85±0,13g	1,55±0,16c	2,64±0,10f	0,99±0,08b	2,19±0,08e
Aceptabilidad ³		7,94c	8,24d	7,30bc	7,20b	7,58c	7,07a	8,38d	7,04a
Fibra Dietética Insoluble ¹	%, b.s.	3,1±0,4a	8,3±0,5c	3,2±0,3a	3,3±0,0a	3,7±0,1ab	4,4±0,2b	3,7±0,1ab	3,6±0,2a
Fibra Dietética Soluble ¹	%, b.s.	2,8±0,5b	3,0±0,1b	2,5±0,2ab	2,1±0,1ab	2,6±0,31ab	2,6±0,0ab	4,4±0,1c	6,6±0,3d
Fibra Dietética Total ¹	%, b.s.	5,9±0,1ab	11,3±0,4f	5,7±0,1a	5,4±0,1a	6,3±0,19b	7,0±0,2c	8,1±0,1d	10,2±0,1e
InsP ₆ ¹	μmol/g, b.s	n.d	2,57±0,10c	1,57±0,10a	3,81±0,3d	2,04±0,20b	4,69±0,45e	1,19±0,05a	2,42±0,08bc
InsP ₅ ¹	μmol/g, b.s	n.d	0,63±0,01d	0,38±0,05b	0,74±0,04e	0,48±0,01c	0,97±0,07f	0,29±0,04a	0,51±0,04c
InsP ₄ ¹	μmol/g, b.s	n.d	0,30±0,01bc	0,27±0,04bc	0,29±0,05bc	0,25±0,02b	0,31±0,04c	0,15±0,04a	0,16±0,01a
InsP ₃ ¹	μmol/g, b.s	n.d	0,50±0,00e	0,44±0,02d	0,38±0,03c	0,34±0,03c	0,24±0,04b	0,17±0,02a	0,15±0,05a
InsP ₆ + InsP ₅ ¹	μmol/g, b.s	n.d	3,19±0,12c	1,95±0,15a	4,55±0,32d	2,63±0,34b	5,66±0,52e	1,48±0,09a	3,37±0,49c

^ab.s, valores expresados en base seca; n.d., no detectado; InsP₃₋₆, fosfatos de *mio*-inositol con 3 y hasta 6 residuos fosfatos.

^bMedia±DS, ¹n=3; ²n=6; ³n=50. Valores seguidos de la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes a un nivel de confianza de 95%.

Tabla 3. Efecto de la formulación en el contenido de minerales, su contribución a la ingesta diaria recomendada y predicción de la biodisponibilidad mineral^{ab}

Muestras	Contenido en Minerales ^b mg/100g pan b.s			Ratio Molar Fitato/Mineral			Ingesta Diaria Recomendada % contribución/250g pan				
	Fe	Ca	Zn	InsP ₆ /Fe	InsP ₆ /Ca	InsP ₆ /Zn	Fe		Ca	Zn	
							H	M	Adulto	H	M
HBC	1,7±0,1b	70,0±0,8b	2,5±0,8a	-	-	-	48,7	21,6	18,9	51,7	73,4
HIC	3,5±0,2d	80,8±0,2b	3,9±0,6ab	4,11	0,12	4,71	101,5	45,1	19,6	81,9	112,6
25HA	1,2±0,1ab	54,9±0,7ab	3,0±0,4a	7,39	0,13	4,38	34,6	15,4	12,8	60,9	83,7
50HA	1,0±0,1a	60,1±0,8ab	2,5±0,2a	19,76	0,24	9,39	28,5	12,6	13,7	56,5	77,7
25HQ	2,5±0,1c	39,2±0,2a	2,7±0,1a	5,02	0,16	5,97	70,2	31,2	8,9	56,2	77,2
50HQ	3,4±0,0d	128,2±0,8c	4,8±0,2b	8,27	0,23	10,29	98,5	43,7	29,4	74,8	102,3
25HC	2,5±0,2c	208,9±0,2d	2,4±0,1a	2,87	0,02	3,32	67,5	30,0	48,4	53,4	73,4
50HC	3,1±0,4d	226,6±0,5d	3,3±0,1ab	4,39	0,035	5,28	90,7	40,3	48,8	68,9	94,8

^aHBC: pan control elaborado con 100% de harina de trigo; HIC: pan control elaborado con 100% de harina integral de trigo; 25HA y 50HA: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de arroz integral, respectivamente, 25HQ y 50HQ: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de quínoa integral, respectivamente; 25HC y 50HC: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de centeno integral, respectivamente; b.s: expresados en base seca.

^bMedia±DS, n= 4, valores seguidos de la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes a un nivel de confianza de 95%.

Tabla 4. Efecto de la formulación en las propiedades térmicas del almidón

Parámetro ^a	Unidades	Harina de Trigo 100%		Harina Integral de Arroz		Harina Integral de Quinoa		Harina Integral de Centeno	
		Refinada	Integral	25%	50%	25%	50%	25%	50%
Gelatinización del almidón ^b									
T _{inicio-G}	°C	65,8±0,7a	66,8±0,6bcd	66,9±0,3cd	66,4±0,6abc	66,9±0,4cd	67,3±0,3d	65,9±0,7a	66,1±0,3ab
T _{pico-G}	°C	74,3±0,5a	75,2±0,5bc	74,3±0,5a	75,3±0,3bc	76,0±0,1b	75,3±0,6bc	75,4±0,1bc	75,6±0,3c
T _{final-G}	°C	98,7±0,5bc	91,5±0,6a	97,7±0,3b	98,1±0,7bc	91,2±0,5a	95,0±0,5a	99,0±0,5c	98,8±0,6bc
ΔH _G	J/g b.s	3,2±0,3b	3,3±0,2b	2,9±0,3a	3,4±0,1b	3,7±0,1c	3,6±0,4c	3,3±0,1b	3,3±0,1b
Retrogradación de la Amilopectina (3 días de almacenamiento) ^c									
T _{inicio-R}	°C	42,1±0,5ab	41,4±0,1a	41,2±0,7a	43,0±0,3bc	42,0±0,6ab	41,1±0,3a	42,2±0,4ab	42,1±0,4ab
T _{pico-R}	°C	57,9±0,4a	57,2±0,1a	57,5±0,1a	57,9±0,5a	57,0±0,5a	57,5±0,3a	57,7±0,2a	57,9±0,2a
T _{final-R}	°C	73,0±0,6ab	72,3±0,8ab	71,7±0,3a	71,5±0,2a	72,5±0,2ab	71,6±0,6a	74,2±0,2c	73,6±0,5b
ΔH _R	J/g b.s	2,4±0,1f	2,1±0,1bcd	2,1±0,1d	1,8±0,17b	2,1±0,35d	1,6±0,1a	2,2±0,1e	2,0±0,0bc

^aT_{inicio}, T_{pico} y T_{final}, temperaturas de inicio, de pico y final del pico endotérmico de gelatinización (G) o retrogradación (R); ΔH_G: Entalpía de gelatinización; ΔH_R: Entalpía de retrogradación de la amilopectina; b.s: base seca.

^bMedia±DS, n=12, ^cn=3, Valores seguidos de la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes a un nivel de confianza de 95%.

CONCLUSIONES

La sustitución de 25% de harina integral de arroz, quinoa o centeno no produjo grandes cambios en cuanto a los parámetros de calidad, mostrando algunas características como la relación de forma superior al pan control.

La incorporación de centeno en un 25% a la formulación aumentó el valor nutricional del producto final, en cuanto a su alto contenido en fibra dietética e inferior contenido en fitatos en comparación al pan con trigo integral.

El pan con 25% de harina de arroz, presentó una mayor acumulación de $InsP_3$, sugiriendo una mayor hidrólisis de $InsP_6$ durante el proceso.

Todas las formulaciones estudiadas, presentaron biodisponibilidad en cuanto al calcio y Zinc. Los panes elaborados con centeno destacaron por su alto contenido en calcio aportando el 48% de la ingesta diaria recomendada en base a 250 g de pan para adultos. La formulación con 50% de quinoa destacó por su alto contenido en cinc contribuyendo en un 75% y 100% de la ingesta diaria recomendada en base 250 g de pan en hombres y mujeres, respectivamente.

La adición de harina de quinoa y de arroz a la formulación provocó una disminución en la entalpía de retrogradación de la amilopectina, lo que podría incrementar la vida útil del producto en cuanto al envejecimiento de éste durante el almacenamiento.

Los extractos fenólicos procedentes de los panes control de trigo y 50% de quinoa y de arroz mostraron un efecto protector en respuesta al estrés oxidativo.

Cada una de las formulaciones estudiadas supuso una mejora en el valor nutricional en función de las necesidades de la población, sin suponer un deterioro importante de la calidad sensorial del producto final, con un alto grado de aceptabilidad por parte del consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. 1983. Approved methods of the AACC (8th ed.) St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. Methods 46-13.
- AACC. 1995. Approved Methods of AACC. Method 54–21, ninth ed. The American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, Minnesota.
- Abugoch, L., Romero, N., Tapia, C., Silva, J., Rivera, M. 2008. Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa wild.*) protein isolates. *J. Agric Food Chem.* **56**:4745-4750.
- Álvarez-Juvete, L., Arent, E.K., Gallagher, E. 2009. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal of Food Science and Nutrition*, **60(1)**:240-257.
- Alvis, A., Perez, L.J., Arrazola, G. 2011. Estudio de propiedades físicas y viscoelásticas de panes elaborados con mezclas de harina de trigo y arroz integral. *Información Tecnológica*, **22(4)**:107-115.
- AOAC. 1991. Determination of total, soluble and insoluble dietary fibre. *Megazyme. Methods* 991.43.
- Berti, C., Riso, P., Monti, L., Porrini, M. 2004. *In vitro* starch digestibility and *in vivo* glucose response of gluten-free foods and their gluten counterparts. *Eur. J. Nutr.* **43(4)**:198-204.
- BRASIL., 2001 Secretaria da Coordenação e Planejamento.Governo do Rio Grande do Sul. Arroz. <http://www.scp.rs.gov.br>.accesado diciembre de 2011.
- Brum, A.L., Heck, C.R. 2005. A economia do trigo no Rio Grande do Sul.Breve histórico do cereal na economia do estado. *Análise*, **16(1)**:29-44.
- Chun, O.K., Kim, D.O., Smith, N., Schroeder, D., Han, J.T., Lee, C.Y. 2005.Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet. *J.Sci.Food Agric.*, **85**:1715-1724.
- Comai, S., Bertazzo, A., Bailoni, L., Zancato, M., Costa, C., Allegri, G. 2007.The content of proteic and nonproteic 8free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. *Food Chem.*, **100**:1350-1355.
- Del Castillo, V., Lescano, G., Armada, M. 2009. Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quínoa, cereales y almidones. Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta, Instituto de Investigaciones para la industria Química (INIQUI-CONICET)-Argentina, **59 (3)**:332-336
- 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.
- FAO. 2008. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.Cereal Foods World, **40**:651-652.
- Gilabert, E.J. 2002. Medida del color. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Gorstein, S., Lojek, A., Ciz, M., Pawelzik, E., Delgado-Lincon, E., Medina, O., Moreno, M., Salas, I., Goshev, I. 2008. Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals. *Int. Food Sci. Technol.*, **43**:629-637.
- Haros, M., Carlsson, N, G., Almgren, A., Larsson-Alminger, M., Sandberg, A.-S., Andlid, T. 2009. Phytate degradation by human gut isolated *Bifidobacterium pseudocatenulatum* ATCC 27919 and its probiotic potential. *International Journal of Food Microbiology*, **135**: 7-14.
- Haros, M., Rosell, C.M., Benedito, C. 2001. Use of fungal phytase to improve breadmaking performance of whole wheat bread. *J.Agric.Food Chem.* **49**:5450-5454.
- Heinemann, R.J.B., Fagundes, P.L., Pinto, E.A., Penteado, M.V.C. 2005. Comparative study of nutrient composition of comercial brown ,parboiled and milled rice from Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*,**18**: 287-296.
- 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,
- Inouchi, N., Nishi, K., Tanaka, S., Asai, M., Kawase, Y., Y., Konishi Yue, s., Fuwa, H.1999.Characterization of amaranth and quinoa starches. *J. Appl. Glycosci.* **46(3)**, 233-240.
- Lamberts, L., Debie, E., Vandeputte, E.G. 2007. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. *Food Chemistry*, **100**:1496-1501.

- Lindeboom, N. 2005. Studies on the characterization, biosynthesis and isolation of starch and protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), University of Saskatchewan Degree of Doctor.
- Llanos, M. 2001. El Centeno, un valor en alza. *Panorama Panadero*, **262**: 56-74.
- Lopez,H.W.;Krespine,V.;Guy,C.Messenger,A.Demigne,C.;Remesy,C.2001. Prolonged fermentation of whole wheat sourdough reduces phytate level and increases soluble magnesium. *J.Agric.Food Chem.*, **49**:2657-2662.
- Ma, G., Jin, Y., Plao, J., Kok, F., 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.
- Nakamura, S., Suzuki, K., Ohtsubo, K. 2009. Characteristics of bread prepared from wheat flours blended with various kind of newly developed rice flours. *J.Food Sci.*, **74(3)**:E121-E130.
- Naos. 2012. Estrategia para la Nutrición, Actividad Física y Prevención de la Obesidad. <http://www.naos.aesan.msssi.gob.es/naos/observatorio/observatorio00102.html>
- Ng, S.C., Anderson, A., Coker, J., Ondrus, M. 2007.Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chemistry*, **101**:185-192.
- Peláez, A. Roig, P., Castelló-Ruiz, M., Fernández-Espinar, M.T., Gil, J.V. 2013. Spectrophotometric monitoring of the growth of *S. cerevisiae* as a method to study the antioxidant effect of the extracts of cocoa and grape. *J.Agric. Food Chem.* (submitted).
- Ryan, E., Galvin, K., O'Connor, T Maguire, A., and O'Brien, N. 2007. Phytosterol, Squalene, tocoferol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plants Foods Hum. Nutr.*, **62**:85-91.
- 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.
- 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., Wronkowska, M., Soral., Smietana, M., Collar, C., Haros, M. 2010. Impact of the addition of resistant starch from modified pea starch on dough and bread performance. *Eur.Food Res.and Tech.*, **231**:499-50.
- 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*. **231**:499-508
- Shi, Y., Azab, A. N., Thompson, M. N., Greenberg, M. L. 2006. Inositol phosphates and phosphoinositides in health and disease. *Shucellular Biochemistry*, **39**: 265-292.
- Simopolus, A. 1991. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**:438-463.
- Türk, M., & Sandberg, A. S. 1992. Phytate degradation during breadmaking – effect of phytase addition. *Journal of Cereal Science*, **15**:281–294.
- Zhu, N., Sheng, S., Sang, S., Jhoo, S., Karve, M Rosen, R., Ho, C.2002. Triterpene saponins from debittered quinoa (*chenopodium quinoa*) seeds. *J. Agric. Food. Chem.*, **50**:865-867.

ANEXO

Tabla 1. Parámetros de optimización para cada formulación estudiada

Muestra ^a	Sustitución de harina (%)	Agua (%)	Tiempo de amasado (min)	Tiempo de fermentación (min)	Volumen óptimo (ml)	Temperatura de horneado (°C)	Tiempo de horneado (min)
HBC	0	60	5,3	25	110	180	20
HIC	0	61	5,4	25	105	165	30
25HA	25	64	4,0	15	100	165	23
50HA	50	65	5,0	15	90	160	28
25HQ	25	62,5	5,3	20	95	165	23
50HQ	50	64	4,3	20	85	160	27
25HC	25	61,6	5,0	90	120	170	22
50HC	50	64,3	5,5	90	100	165	30

^aHBC: pan control elaborado con 100% de harina de trigo; HIC: pan control elaborado con 100% de harina integral de trigo; 25HA y 50HA: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de arroz integral, respectivamente, 25HQ y 50HQ: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de quínoa integral, respectivamente; 25HC y 50HC: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de centeno integral, respectivamente.

Tabla 2. Efecto de la incorporación de distintas harinas en el color de la corteza y de la miga de los productos desarrollados

Parámetro	Harina de trigo 100%		Harina integral de quínoa		Harina integral de arroz		Harina integral de centeno	
	Refinada	Integral	25%	50%	25%	50%	25%	50%
Color de la corteza ¹								
a*	9,11±0,43a	3,71±0,50b	13,74±0,24e	14,93±0,19f	8,78±0,73a	10,54±0,64c	10,17±0,21bc	10,17±0,21bc
b*	37,35±0,63d	30,50±0,50a	31,80±0,45b	30,19±0,10a	37,30±0,52d	37,46±0,35d	33,86±0,27c	30,27±0,25a
L*	66,25±0,45g	58,55±0,52e	52,41±1,16c	51,46±0,95b	68,44±0,58h	65,18±0,23f	57,13±0,50d	49,39±0,68a
C*	37,88±0,33d	31,79±0,54a	34,62±0,78c	32,68±0,65b	38,24±0,39d	38,46±0,43d	34,91±0,54c	32,58±0,34b
h*	75,01±0,23g	70,03±0,64e	66,30±0,37b	63,11±0,50a	75,96±0,34h	74,13±0,47f	68,73±0,58d	67,30±0,54c
ΔE*	-	9,83±0,62d	13,64±1,56e	17,12±1,66g	6,12±0,59a	6,37±0,34ab	7,57±1,60c	15,45±0,76f
Color de la miga ¹								
a*	-1,44±0,12ab	3,54±0,59f	-1,58±0,16a	-1,33±0,11b	-0,93±0,09c	-0,34±0,18d	1,31±0,36e	3,35±0,50f
b*	15,25±0,38b	17,42±0,41d	18,77±0,57f	21,51±0,41g	16,78±0,64c	18,11±0,53e	14,64±0,63a	16,46±0,34c
L*	72,04±0,56e	55,17±0,63a	72,44±0,60e	69,17±0,75d	72,29±0,60e	67,41±0,56	59,55±0,66b	55,49±0,84a
C*	15,20±0,53b	18,26±0,49ef	18,42±0,54f	21,04±0,36g	16,29±0,60c	18,09±0,39e	14,35±0,37a	16,81±0,40d
h*	95,30±0,45g	78,40±0,23a	94,72±0,66f	93,59±0,32e	93,19±0,57d	91,26±0,45c	84,76±0,33b	78,45±0,16a
ΔE*	-	10,63±0,64c	7,22±1,32a	8,33±0,94b	8,67±0,47b	8,22±0,39b	11,74±1,61d	15,10±1,57e

⁽¹⁾ Valores medios±SD, n=18. Valores seguidos de la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes a un nivel de confianza del 95%

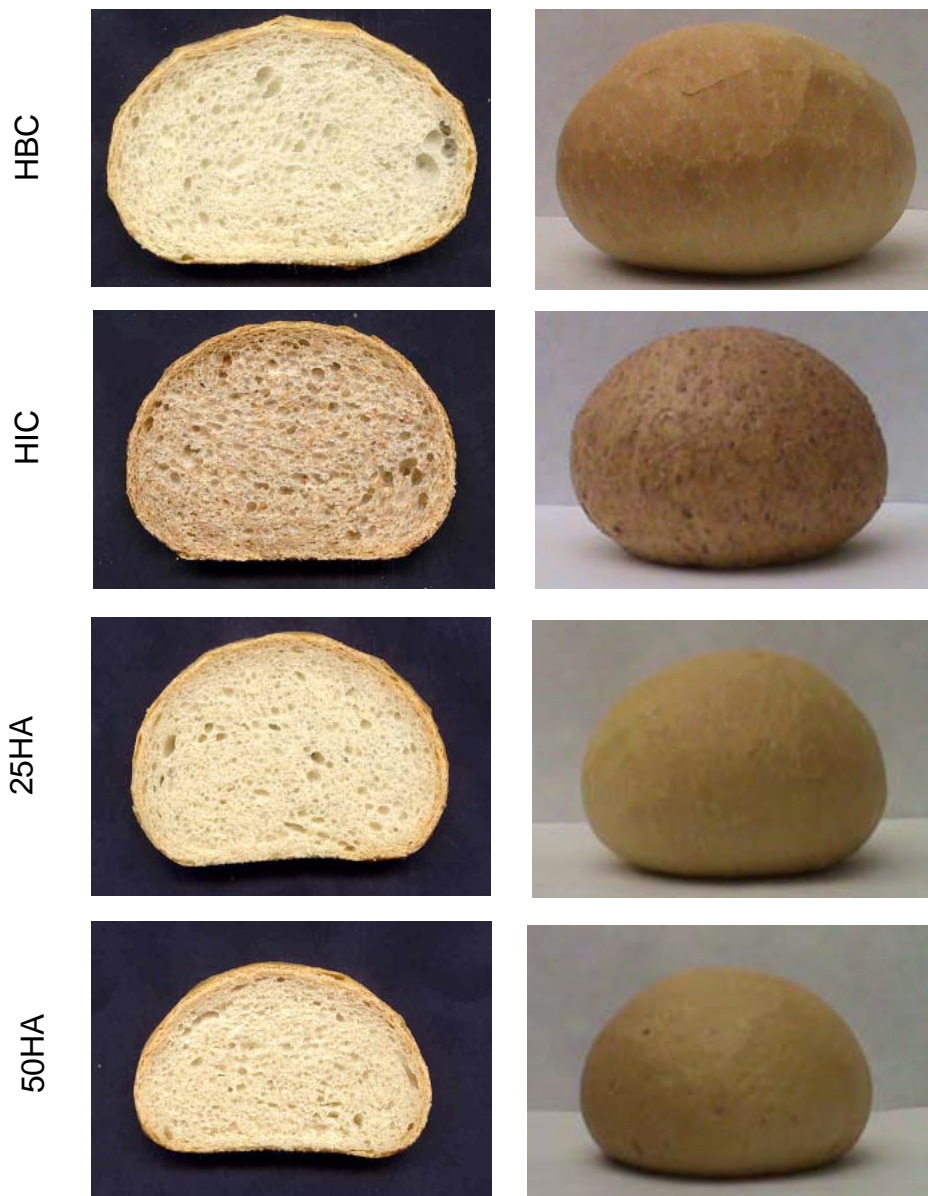


Figura 1. Efecto de la incorporación de harina integral de arroz en el volumen y la relación de aspecto de la rebanada central. HBC: pan control elaborado con 100% de harina de trigo; HIC: pan control elaborado con 100% de harina integral de trigo; 25HA y 50HA: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de arroz integral, respectivamente.

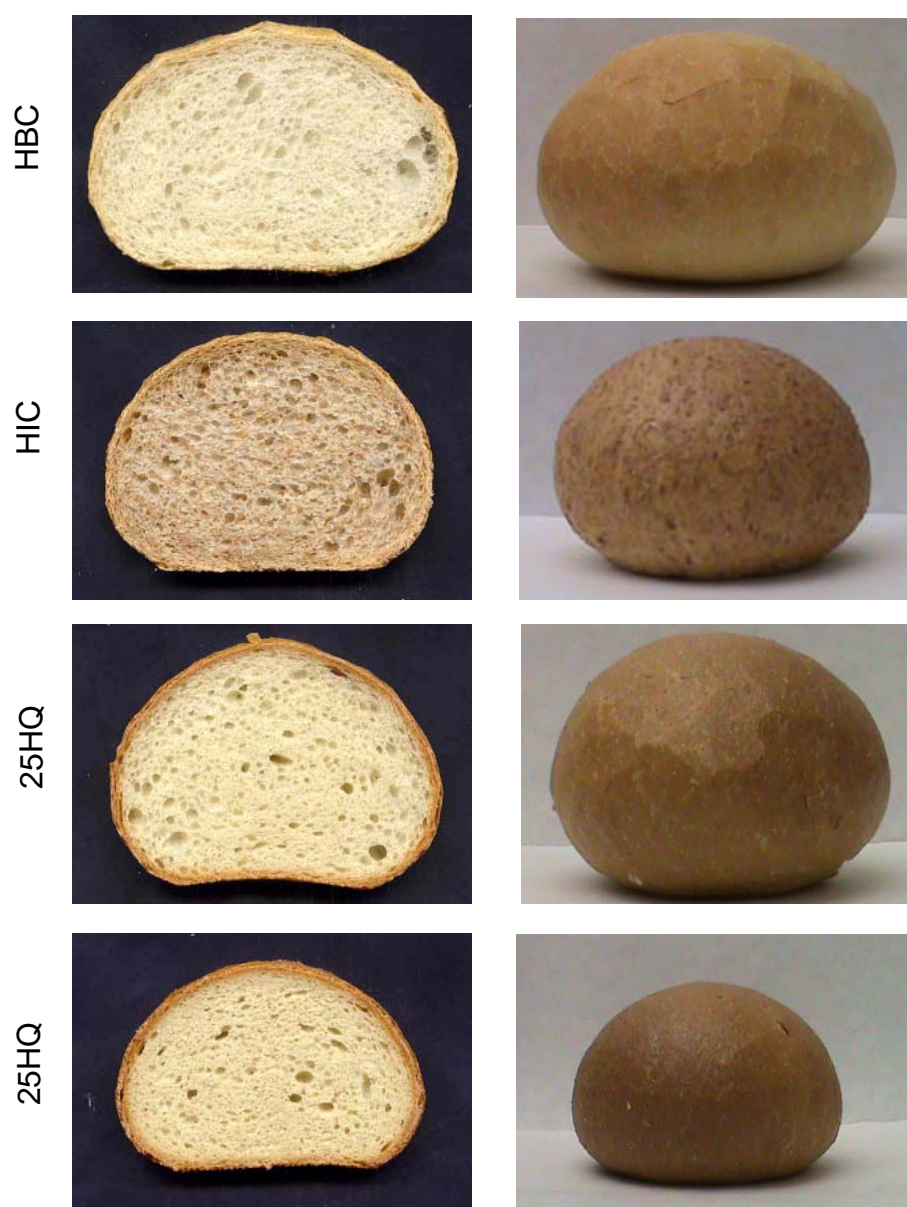


Figura 2. Efecto de la incorporación de harina integral de quínoa en el volumen y la relación de aspecto de la rebanada central. HBC: pan control elaborado con 100% de harina de trigo; HIC: pan control elaborado con 100% de harina integral de trigo; 25HQ y 50HQ: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de quínoa integral, respectivamente.

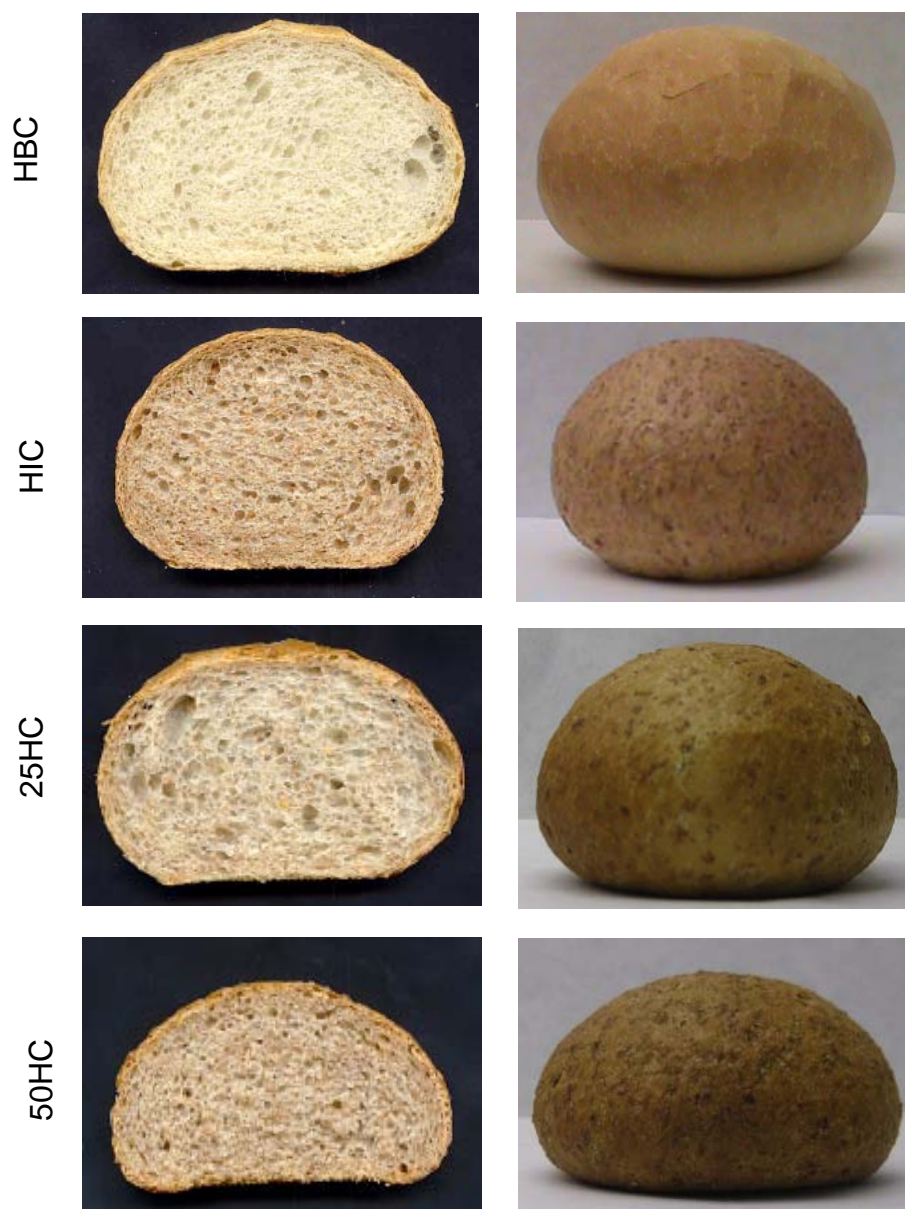


Figura 3. Efecto de la incorporación de harina integral de centeno en el volumen y la relación de aspecto de la rebanada central. HBC: pan control elaborado con 100% de harina de trigo; HIC: pan control elaborado con 100% de harina integral de trigo; 25HC y 50HC: 25% y 50% de sustitución de harina de trigo por harina de centeno integral, respectivamente.

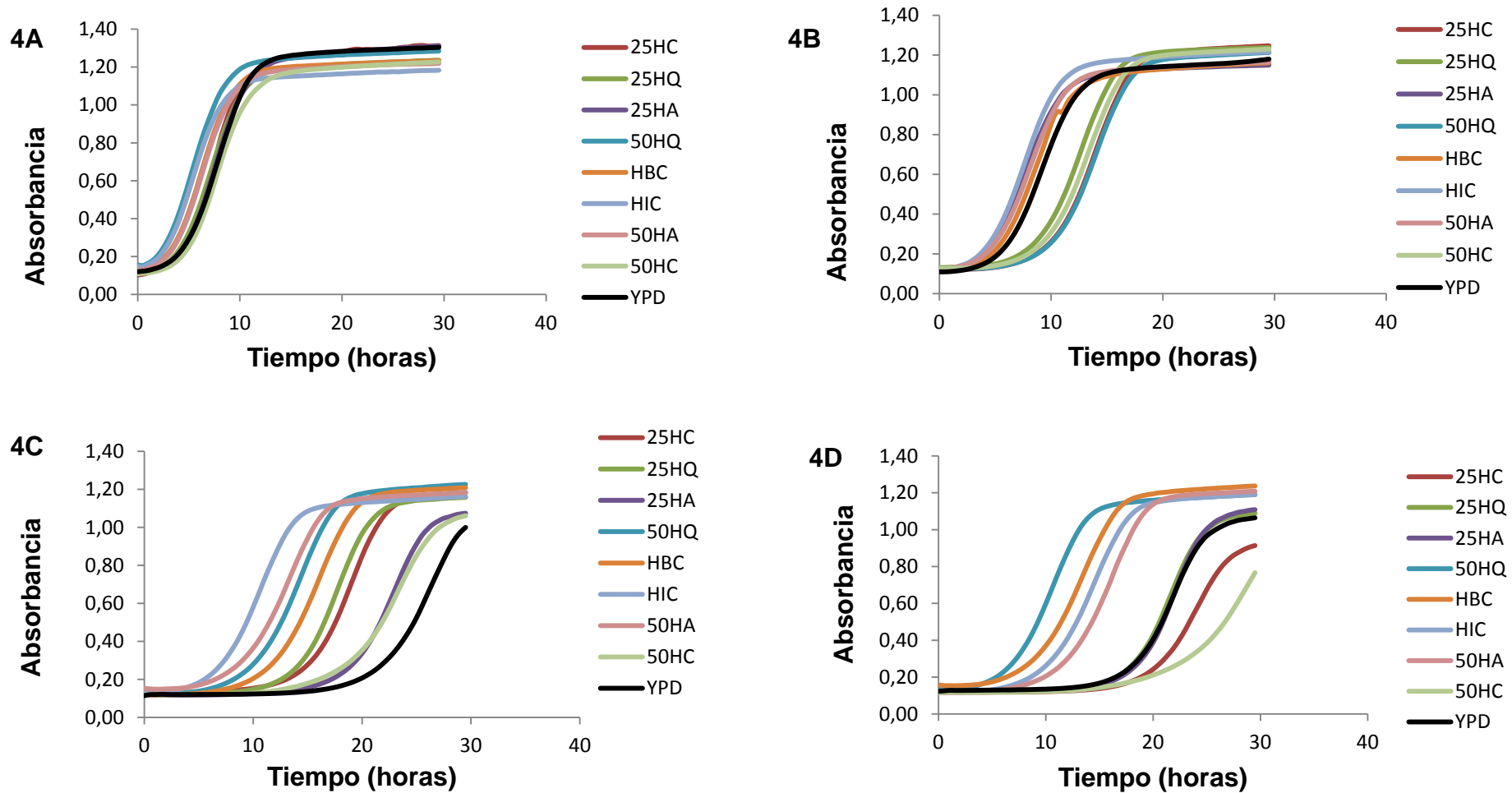


Figura 3: Efecto de las distintas formulaciones en la cinética de crecimiento celular de *Saccharomyces Cerevisiae* en medio YPD y tratadas con extractos fenólicos de los panes estudiados. HBC: pan control con harina de trigo ; HIC: pan control con harina integral de trigo; 25HA y 50HA: pan con 25% y 50% de harina de arroz integral; 25HQ y 50HQ: pan con 25% y 50% de quínoa; 25HC y 50HC: pan con 25% y 50% centeno integral. Fig. 4A: sin tratamiento con peróxido de hidrógeno; Fig. 4B: tratamiento con solución de peróxido de hidrógeno 1,0 mM; Fig. 4C: tratamiento con solución de peróxido de hidrógeno 2,5 mM; Fig. 4D: tratamiento con solución de peróxido de hidrógeno 5,0 mM. Concentración de extracto (5%).