



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE AGROQUÍMICA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS (IATA-CSIC)



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

APROXIMACIÓN TECNO-FUNCIONAL DE MATRICES MIXTAS DE CEREALES: APLICACIÓN EN SISTEMAS PANARIOS

**MÁSTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS
ESPECIALIDAD: DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

Alumna: Susana Rubio Arraez

Directores: Dr. D. Alessandro Angioloni
Dra. Dña. Concha Collar

Centros: Instituto de Agroquímica y
Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC).
Instituto Universitario de Ingeniería de
Alimentos para el Desarrollo (IUIAD-UPV).
Curso 2009-2010

APROXIMACIÓN TECNO-FUNCIONAL DE MATRICES MIXTAS DE CEREALES: APLICACIÓN EN SISTEMAS PANARIOS

Rubio, S.; Angioloni, A.; Collar, C.

RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio sobre la aproximación tecno-funcional de matrices mixtas de cereales y su aplicación en sistemas panarios. Se elaboraron panes con distintos grados de sustitución de trigo común por trigo kamut, trigo espelta, trigo sarraceno, avena y centeno. Se midieron las propiedades mecánicas y de superficie, así como la extensibilidad uni-axial y las propiedades reológicas fundamentales de las masas, y se realizó una caracterización tecno-funcional de los panes obtenidos.

PALABRAS CLAVE: cereales, matrices mixtas, sistemas panarios, propiedades reológicas, características tecno-funcionales.

RESUM

En aquest treball es realitza un estudi sobre l'aproximació tecno-funcional de matrius mixtes de cereals i la seua aplicació en sistemes panaris. Es van elaborar pans amb diferents graus de substitució de blat comú per blat kamut, blat espelta, blat sarraí, avena i sègol. Es van mesurar les propietats mecàniques i de superfície, així com la extensibilitat uni-axial i les propietats reològiques fonamentals de les masses i es va realitzar una caracterització tecno-funcional dels pans obtinguts.

PARAULES CLAU: cereals, matrius mixtes, sistemes panaris, propietats reològiques, característiques tecno-funcionals.

ABSTRACT

The techno-functional characteristics of cereal mixed matrices and their application in breadmaking were studied. Breads with different degrees of replacement of common wheat by kamut, spelt, buckwheat, oat and rye were prepared. Dough mechanical and surface properties, dough uni-axial extensibility and dough fundamental rheological properties, as well as, bread techno-functional characteristics were studied.

KEYWORDS: cereals, mixed matrices, bread, rheological properties, techno-functional characteristics.

Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Apartado 73, 46100, Burjassot (Valencia).

INTRODUCCIÓN

El pan ha sido y sigue siendo en algunos países en vías de desarrollo un alimento básico para la población y por ello posee una gran importancia en la nutrición internacional. En los países desarrollados, el consumo de pan ha disminuido en los últimos años debido a una serie de factores como son el cambio de hábitos alimentarios (como por ejemplo, que la comida principal se realice fuera de casa favoreciendo el incremento de las comidas rápidas), o la mayor diversidad de productos sustitutivos del pan existentes en el mercado tales como cereales de desayuno, snacks, galletas, etc. En general, estos alimentos son ricos en grasas y azúcares simples, pobres en fibra y con un alto valor energético. Los cambios de hábitos asociados a una alimentación poco saludable han favorecido el incremento de una serie de enfermedades típicas de los países occidentales y la aparición de ciertos colectivos específicos como enfermos de diabetes de tipo II, cáncer, con problemas cardiovasculares, hipercolesterolemia y obesidad. Hoy en día existe una mayor sensibilización de la población frente a las enfermedades derivadas de malas costumbres alimentarias por lo que se debería aprovechar esta oportunidad para estudiar y desarrollar productos más saludables con el fin de favorecer la disminución de estas afecciones.

A nivel mundial los productos de panificación varían ampliamente, así como sus técnicas de producción. En general, los ingredientes básicos para su preparación son en todos los casos harina, agua, levadura y sal. El pan representa una buena fuente energética principalmente gracias a su alto contenido de almidón y en menor medida a su contenido de proteínas y lípidos (ricos en ácidos grasos esenciales). Conjuntamente a los macronutrientes mencionados, el pan aporta también fibra alimentaria, micronutrientes (vitaminas, minerales), antioxidantes y compuestos fitoquímicos.

Debido al incremento del interés por un estilo de vida más saludable, los panes preparados con el empleo de harina integral, los panes multicereales y los panes que presentan en su formulación ingredientes funcionales, son de gran interés tanto por parte de los consumidores como por los profesionales cerealistas (Dewettinck *et al.*, 2008; Prätälä *et al.*, 2001; Siega-Riz *et al.*, 2000). Según los estudios de Lopez *et al.* (2001), el pan "ideal" debería tener un bajo índice glicémico (IG), ser una fuente importante de proteínas, fibra dietética, vitaminas, magnesio, oligoelementos y antioxidantes. Dewettinck *et al.* (2008) demostraron en sus investigaciones que en el intestino delgado de los humanos existe una fracción de almidón no digerido llamado almidón resistente (RS), reconocido como fibra prebiótica. El RS realiza un importante papel en la fisiología digestiva, estimulando el desarrollo y la actividad de numerosos *lactobacillus* y *bifidobacterias* que disminuyen el riesgo de enfermedades intestinales. Generalmente, el pan de trigo común contiene pequeñas cantidades de dicho almidón. Otros autores como Bach Knudsen *et al.* (1997), han señalado que el aumento de la ingesta de fibra dietética soluble protege contra el desarrollo de cáncer de colon. Dicha fibra está compuesta principalmente por β -glucanos y arabinosilanos. Entre todos los cereales, la avena y la cebada son los que poseen los mayores contenidos de β -glucanos de forma natural. Los β -glucanos ejercen importantes efectos terapéuticos positivos sobre enfermedades coronarias, en la reducción del colesterol y de la

respuesta glicémica, disminuyendo el tránsito intestinal y modulando la absorción de la glucosa (Charalampopoulos *et al.*, 2002). En los estudios de Östman *et al.* (2006), se indica que una dieta con alimentos de bajo IG reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II y ciertos tipos de cáncer. La mayoría de los productos panarios tienen un alto IG, lo que hace que el desarrollo de panes con menor IG sea de especial interés.

La obtención de productos derivados de cereales, y de pan en particular, que presenten un alto valor añadido, se puede lograr siguiendo dos estrategias. Por un lado se pueden obtener productos con características similares al pan tradicional, sin alterar sus propiedades sensoriales, y por el otro se pueden elaborar nuevos productos, alternativos y más creativos, con características que no tienen por qué parecerse a las del pan tradicional. En concreto, para este último supuesto el uso de otro tipo de cereales (espelta, avena, centeno, kamut y trigo sarraceno) a distintos niveles de sustitución de la harina de trigo común, usada para la elaboración de la gran mayoría de panes comercializados, podría dar como resultado un aumento del valor añadido del pan.

Con el trigo espelta (*Triticum aestivum Spelta*), que se cultiva desde hace siglos en varios países de Europa central (Alemania, Austria, Eslovenia), se obtiene un pan con un contenido en proteínas superior al del pan de trigo común y con una buena cantidad de fibra soluble. Al mismo tiempo posee un característico olor fuerte a pan, sabor apreciado y permanece por más tiempo fresco y suave (Abdel-Aal, 2008; Bonafaccia *et al.*, 2000; Kohajdová y Karovicová, 2008).

En cuanto a la avena (*Avena sativa*), cabe resaltar que puede aportar valiosos nutrientes tales como β -glucanos, proteínas, ácidos grasos no saturados, vitaminas, minerales y compuestos fitoquímicos (Flander *et al.*, 2007). La adición de β -glucanos al pan blanco, no sólo mejora el contenido de la fibra dietética, sino que también mejora su estabilidad y su vida útil (Lazaridou y Biliaderis, 2007).

En Europa septentrional y oriental, el centeno (*Secale cereale*) tradicionalmente ha sido y es una de las fuentes más importantes de hidratos de carbono en la dieta de los seres humanos. Existen diferencias entre la harina de trigo común y la de centeno en cuanto al color, contenido de cenizas, proteínas, lípidos, β -glucanos, actividad enzimática y compuestos fenólicos (Gómez *et al.*, 2009). La producción de pan de centeno va casi siempre asociada a un proceso de panificación que prevea el uso de masa madre.

El kamut (*Triticum turgidum Turanicum*), es un antiguo tipo de trigo y aunque su verdadera historia y taxonomía son inciertas, parece ser originario de la zona que se extiende desde Egipto hasta el valle del Tigris-Éufrates. Lo que no se discuten son sus propiedades nutritivas y características organolépticas. Posee ciertas ventajas nutricionales frente al trigo común, puesto que es más rico en proteínas, hidratos de carbono, aminoácidos, minerales (Mg y Zn), vitaminas (B y E), y ácidos grasos no saturados. La harina de Kamut podría sustituir sin grandes inconvenientes a la harina de trigo común, y a pesar de contener gluten, éste resulta menos alergénico que el del trigo común (Quinn, 1999; Scazzina *et al.*, 2008).

El trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum Möench*) está ganando popularidad debido a sus potenciales beneficios para la salud humana, aunque se trata de un cultivo de menor importancia en términos de producción. En

realidad es un pseudo-cereal nativo de las regiones de Asia oriental, pero al que se le suele agrupar con los cereales (Edwardson, 1996; Kim *et al.*, 2004). Su harina es rica sobre todo en fibra y minerales (K, Mg, Fe, Na, Cu, Mn, Sr, Li), presentes en mayor proporción que en la harina de trigo. Además, es una de las mejores fuentes de proteínas vegetales con alto valor biológico (Mariotti *et al.*, 2008).

Teniendo en cuenta todas las potenciales ventajas nutricionales mencionadas, el objetivo de este trabajo consiste en averiguar la viabilidad de la aplicación de cereales distintos del trigo común en matrices mixtas con el fin de obtener panes con un perfil funcional y sensorial aceptable, y con una mejora nutricional significativa (ricos en proteínas, menor contenido de almidón digerible, mayor contenido en fibras viscosas, fuente de antioxidantes). Constituyen objetivos específicos el diseño y desarrollo de productos especiales de cereales, así como su caracterización físico-química, funcional y sensorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se utilizaron cinco harinas integrales de avena (AV), kamut (KM), espelta (SP), centeno (CN) y trigo sarraceno (TS), y harina blanca de trigo común. Sus correspondientes composiciones químicas se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Composición química de las harinas empleadas.

	Humedad (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)	Grasas (%)
Avena	10,1±0,30	21,5±0,07	1,83±0,01	5,99±0,23
Kamut	12,6±0,38	17,8±0,02	1,36±0,05	1,53±0,03
Espelta	12,5±0,38	14,8±0,09	1,61±0,02	1,98±0,02
Centeno	11,5±0,35	9,6±0,11	1,12±0,01	1,28±0,03
Trigo sarraceno	11,7±0,35	17,4±0,04	1,81±0,04	3,04±0,01
Trigo común	14,2±0,43	12,6±0,07	0,63±0,01	1,33±0,01

Medias de tres repeticiones ± desviación estándar.

MÉTODOS VISCOSIMÉTRICOS

El perfil de viscosidad de las masas se determinó con un viscoanalizador rápido (RVA, Newport Scientific, modelo 4-SA, Warriewood, Australia), siguiendo el método ICC n°162. Se utilizaron 3,5 g de harina (14% base húmeda) que se rehidrataron con 25±0,1 ml de agua. Inicialmente se aplicó una agitación a 960 rpm durante 10 s para homogeneizar la muestra. El resto del ensayo se realizó con una agitación constante de 160 rpm. La muestra se sometió a un ciclo de calentamiento y enfriamiento (50°C-95°C-50°C), obteniéndose de esta forma los perfiles de viscosidades (cP) en función del tiempo (minutos) y de la temperatura (°C). Los datos se procesaron con el software Thermoclimate versión 2.2 (Collar, 2003). Las muestras se analizaron por duplicado.

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, en cambio cuando una suspensión de almidón se calienta a una temperatura crítica, su estructura se altera. Los enlaces intermoleculares se rompen, propiciándose la entrada de agua, con lo que los gránulos de almidón comienzan a hincharse de manera irreversible dando lugar al proceso de gelatinización de almidón.

A medida que aumenta la temperatura, en presencia de exceso de agua, los gránulos de almidón continúan hinchándose, provocando un aumento brusco de la viscosidad, que determina la temperatura de formación de la pasta. Esta temperatura proporciona información sobre la temperatura mínima requerida para realizar la cocción. Cuando se alcanza el equilibrio entre los gránulos que se hinchan y los que se rompen, se alcanza la viscosidad máxima, que indica la capacidad del almidón de retener agua y que se correlaciona con la calidad del producto final.

Antes de comenzar con el enfriamiento, la muestra se mantiene a 95°C durante 3 min y 10 s; en este periodo la viscosidad disminuye hasta alcanzar un mínimo. Durante el ciclo de enfriamiento, tiene lugar la reasociación de las moléculas de almidón, que provoca un nuevo aumento de viscosidad hasta alcanzar el valor de viscosidad final. Este parámetro proporciona información sobre la habilidad de un material para formar un gel después de un ciclo de calentamiento-enfriamiento. Este fenómeno se conoce como retrogradación del almidón; la magnitud y velocidad del mismo dependen de las características del almidón, y en particular de la concentración de amilasa, la longitud de sus cadenas y el grado de su dispersión.

Durante el ciclo de calentamiento (50°C-95°C), se obtuvieron una serie de parámetros como son: temperatura de formación de la pasta (temperatura a la que la viscosidad aumenta 25 cP en 20 s), viscosidad máxima, temperatura y tiempo en el pico de máxima viscosidad, viscosidad a los 95°C (cP), viscosidad al final de los 95°C, viscosidad mínima (*holding strength*), y caída de viscosidad (*breakdown*). Y, durante el ciclo de enfriamiento (95°C-50°C) se obtuvieron los siguientes parámetros: viscosidad a los 50°C (cP), viscosidad final, *setback* total (diferencia de viscosidad entre la viscosidad final y la viscosidad mínima, relacionado con la textura de algunos productos), y *setback* parcial (diferencia de viscosidad entre la viscosidad final y la viscosidad máxima).

Preparación de las masas

Las masas se prepararon en un farinógrafo Brabender (Brabender, Duisburg, Alemania) de acuerdo con el método ICC nº115/1. Se añadió la cantidad de agua necesaria para alcanzar 500 Unidades Brabender de consistencia y se amasó hasta el tiempo de desarrollo de la masa. Parte de la harina de trigo se reemplazó por combinaciones de harinas integrales de centeno, trigo sarraceno, espelta, avena y kamut, de acuerdo con el diseño experimental "Draper-Lin blocked cube-star", que se muestra en la Tabla 2, en el cual cada harina constituye un factor de diseño cuantitativo e independiente.

En la preparación de las masas se utilizaron cinco niveles de adición (-2,28035, -1, 0, 1, 2,28035) y las dosis utilizadas para todas las masas fueron desde 0,16 hasta 13,84 g/100 g base de harina de trigo común. A partir del diseño, se obtuvieron 28 combinaciones de masas diferentes.

Con el farinógrafo se registró la resistencia que la masa opone al esfuerzo mecánico del amasado en unas condiciones determinadas. Dicha resistencia se denomina consistencia, y se mide en unidades Brabender (UB).

TABLA 2. Diseño experimental “Draper-Lin blocked cube-star”.

Muestra	CN	TS	SP	AV	KT
1	0	0	0	0	0
2	1	-1	-1	-1	1
3	1	1	-1	-1	-1
4	1	-1	1	1	-1
5	-1	-1	-1	-1	-1
6	-1	1	1	-1	1
7	-1	1	-1	1	1
8	0	0	0	0	0
9	1	1	-1	1	1
10	-1	1	1	1	-1
11	1	1	1	-1	-1
12	1	-1	1	1	1
13	-1	-1	1	-1	1
14	-1	-1	-1	1	-1
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	2,28035	0	0	0	0
18	0	-2,28035	0	0	0
19	0	0	2,28035	0	0
20	0	0	0	0	2,28035
21	-2,28035	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	2,28035	0
24	0	2,28035	0	0	0
25	0	0	0	0	-2,28035
26	0	0	0	-2,28035	0
27	0	0	-2,28035	0	0
28	0	0	0	0	0

Abreviaturas: CN (centeno), TS (trigo sarraceno), SP (espelta), AV (avena) y KM (kamut).

Para realizar el ensayo se introdujeron 300 g de harina (según el diseño de la Tabla 2), y se añadió la cantidad de agua necesaria para obtener una consistencia de 500 UB. El registro que se obtuvo se denomina farinograma y en él se representa la consistencia (UB) en función del tiempo (minutos). A partir del farinograma se obtuvieron diferentes parámetros que definen el comportamiento de la masa durante su amasado y posterior sobre-amasado, como son: absorción de agua (cantidad de agua necesaria para desarrollar la masa hasta una consistencia de 500 UB en el centro de la curva), tiempo de llegada (tiempo que tarda la parte superior de la curva en intersectar la línea de 500 UB de consistencia), tiempo de salida (tiempo que transcurre desde la adición de agua hasta que la parte superior de la curva abandona la línea de 500 UB de consistencia), tiempo de desarrollo de la masa (tiempo que transcurre hasta alcanzar el desarrollo de máxima consistencia de la masa; parámetro indicativo de la calidad proteica de la harina), estabilidad (tiempo

que transcurre desde el tiempo de llegada hasta el tiempo de salida), índice de tolerancia al amasado (diferencia en UB desde la parte superior de la curva correspondiente a la máxima consistencia hasta la que alcanza cinco minutos después), tiempo de caída (tiempo que transcurre desde el principio del amasado hasta un descenso de 30 UB desde el pico de consistencia máxima), grado de ablandamiento a los 12 y 20 minutos (diferencia en UB entre el centro de la curva en el pico de máxima consistencia y el centro de la curva a los 12 y 20 minutos).

Caracterización reológica de las masas

La evaluación de las características reológicas de las masas se llevó a cabo utilizando un texturómetro TA-XT plus (Stable Micro Systems, UK), con el que se midieron las propiedades mecánicas y de superficie de las masas, así como la extensibilidad uni-axial. Las propiedades reológicas fundamentales de las masas se estudiaron utilizando un reómetro rotacional de esfuerzo controlado (RS1-Thermo Haake, Karlsruhe, Germany).

ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA

El análisis del perfil de textura (TPA) permite evaluar de forma objetiva las propiedades mecánicas de un producto, ofreciendo la obtención simultánea de varios parámetros. El TPA puede realizarse tanto sobre el producto intermedio (masa), para predecir las características que tendrá el producto final, como sobre el producto final (pan). El análisis de perfil de textura para la masa se realizó mediante un ciclo de doble compresión con un tiempo de espera entre el final de la primera compresión y el inicio de la segunda. Para el ensayo sobre la masa se utilizó una sonda de aluminio de 5 cm de diámetro, y la compresión se llevó a cabo hasta un 60% del espesor inicial de la masa con un tiempo de espera de 75 s entre la primera y la segunda compresión. El registro proporcionado tras el ciclo de doble compresión se conoce como curva TPA, donde se representa la fuerza en función del tiempo.

A partir de esta curva se obtuvieron los siguientes parámetros: dureza (fuerza necesaria para alcanzar la deformación predeterminada), cohesividad (simula la fuerza de los enlaces internos que forman la muestra), elasticidad de recuperación retardada (capacidad del material para recuperar su estado original tras la deformación) y elasticidad de recuperación instantánea (capacidad instantánea del material para recuperar su forma original), adhesividad (trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie de la muestra y la sonda con la que se realiza la compresión) y gomosidad. Para medir las propiedades mecánicas primarias (dureza, cohesividad y elasticidad) se colocó un film de plástico sobre la superficie de la masa. De esta forma se evita la interferencia que la adhesividad pueda tener en los resultados (Collar *et al.*, 2000). La adhesividad de la masa se midió tras un segundo TPA sin la película protectora y eliminando los demás parámetros.

EXTENSIBILIDAD UNI-AXIAL

La extensibilidad uni-axial de las masas se determinó mediante el uso de un texturómetro TA-XT plus (Stable Micro Systems, UK), siguiendo la metodología desarrollada por Kieffer *et al.* (1998). Se tomaron aproximadamente 20 g de cada muestra y se colocaron sobre un molde de teflón, previamente aceitado con aceite de parafina. La masa se dejó reposar durante 15 min, para eliminar el estrés acumulado durante su preparación. Se realizaron 10 réplicas de cada muestra. Los parámetros que se obtuvieron a partir de dicha prueba fueron los siguientes: resistencia a la extensión (indica la fuerza que hay que aplicar a la masa para que se extienda, las principales responsables son las gluteninas), extensibilidad a la fuerza máxima, y extensibilidad a la rotura (las principales responsables son las gliadinas), área (energía necesaria para estirar la masa) (Collar *et al.*, 1999; Smewing, 1995).

Tanto la resistencia a la extensión como la extensibilidad son propiedades que indican el comportamiento que tendrá la masa durante la panificación, y vienen determinadas por la calidad y la cantidad de proteínas que forman el gluten.

MEDIDAS VISCOELÁSTICAS FUNDAMENTALES

Las propiedades viscoelásticas de las masas se determinaron utilizando un reómetro rotacional (RS1-Thermo Haake, Karlsruhe, Germany), empleando una geometría de platos paralelos de 3,5 cm de diámetro y 1 mm de espacio entre platos. El ensayo se realizó a temperatura ambiente (25°C) y una vez colocada la muestra en el reómetro se dejó reposar 5 min antes de registrar la medida. Una vez alcanzada la posición de medida, el exceso de muestra fue eliminado. La superficie expuesta fue cubierta con una fina capa de aceite mineral para prevenir la pérdida de humedad durante la prueba. Para caracterizar la viscoelasticidad de las muestras, primero se determinó la zona de viscoelasticidad lineal mediante la resolución de un barrido de deformación a una frecuencia de 1 Hz, y a partir de estos datos, fue elegida para las mediciones una deformación de 0,02% dentro de la región viscoelástica lineal. A continuación, se realizaron barridos de frecuencias de 0,1 a 10 Hz y se obtuvieron los valores del módulo de almacenamiento (G'), del módulo de pérdida (G''), de la tangente de pérdidas ($\tan \delta$) y de la viscosidad compleja (η^*) en función de la frecuencia.

Proceso de panificación

El proceso de panificación (Figura 1), se realizó siguiendo las siguientes etapas:

-Elaboración de la esponja: los ingredientes (50% de harina, 50% de agua y 2% de levadura comercial) se amasaron y posteriormente se dejaron fermentar durante 18 horas a una temperatura de 5°C.

-Amasado: la esponja y el resto de los ingredientes utilizados (50% de harina, 50% agua, 1,5% de sal,) se mezclaron en la amasadora del farinógrafo (Brabender, Duisburg, Alemania), y los tiempos de amasado de cada muestra fueron elegidos en función de los valores obtenidos a partir de los farinogramas (tiempo de desarrollo de la masa).

-Reposo: tras el amasado se dejó reposar la masa a temperatura ambiente durante 10 min.

-División: la masa se dividió manualmente en tres piezas de 100 g para colocar en tres moldes. A partir de la masa sobrante se guardaron distintas porciones para la realización de los ensayos de TPA, Kieffer y Reómetro.

-Enmoldado: tras la operación de boleado, las piezas se colocaron en moldes, previamente recubiertos con aceite vegetal.

-Fermentación: la fermentación se realizó a temperatura y humedad controladas en una cámara de fermentación (Infrisa, España) a una temperatura de 28°C y una humedad relativa de 75%. El tiempo de fermentación fue aproximadamente de 40 min.

-Cocción: la cocción se realizó en un horno eléctrico (Eurofours, Gommegnies, France) a 170°C, durante 25 min. Al inicio de la cocción se realizaron dos vaporizaciones de 12 s cada una para evitar la formación prematura de la corteza.

-Desmoldado y enfriado: el pan horneado se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 80 min.

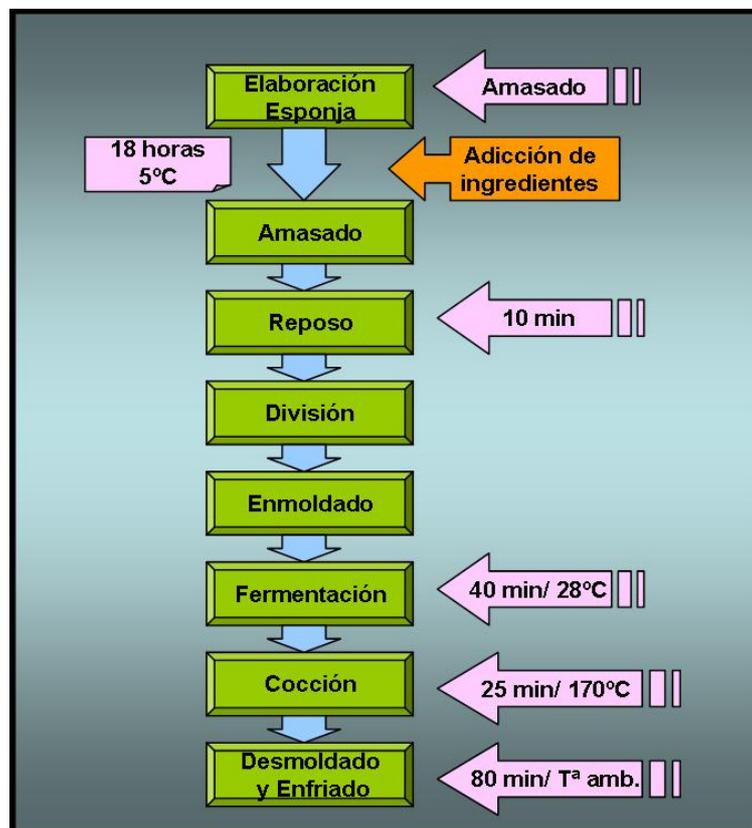


Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración del pan.

Características tecnológicas y de calidad del pan

ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA

Al igual que para la masa, las propiedades mecánicas del pan se determinaron mediante el análisis de perfil de textura (TPA). El perfil de textura se realizó en un texturómetro TA-XT plus (Stable Micro Systems, UK), y se

determinaron tanto las propiedades mecánicas primarias (dureza, cohesividad y elasticidad), como la masticabilidad (energía requerida para masticar una muestra sólida hasta que se pueda tragar). Para ello se realizó un ensayo de doble compresión, que simula el proceso de masticación en la boca. El tiempo de espera entre la primera y la segunda compresión fue de 30 s. El ensayo se realizó sobre rebanadas sin corteza de 1 cm de espesor, pertenecientes a la zona central de los panes. Cada muestra se comprimió hasta un 50% de su espesor inicial y se utilizó una sonda de 10 mm de diámetro. La velocidad de descenso de la sonda fue de 1 mm/s.

HUMEDAD DEL PAN

La humedad del pan se determinó siguiendo el método ICC nº110/1 y se llevó a cabo en dos etapas. Para determinar la humedad de la primera etapa se procedió a rebanar el pan, se troceó en partes pequeñas, se pesó en fresco y se dejó secar durante tres días. Posteriormente, se procedió a pesar la muestra seca y por diferencia de peso se calculó la humedad de la primera etapa, H_1 . La humedad de la segunda etapa, H_2 , se determinó tras el secado de la muestra triturada obtenida en la primera etapa, durante 90 min a 130°C [$H=H_1+(H_2*(100- H_1)/100$].

VOLUMEN ESPECÍFICO

El volumen del pan se determinó con un panvolumenómetro, por desplazamiento de semillas de colza y para cada pan se realizaron 2 medidas de volumen. A partir del volumen y del peso del pan, se determinó su volumen específico, que se define como la relación entre el volumen del pan y su masa.

DETERMINACIONES COLORIMÉTRICAS

Se determinó el color de la miga y de la corteza utilizando un colorímetro Minolta (Minolta Co., Osaka, Japan) y los resultados se expresaron con la escala de color CIE $L^* a^* b^*$. La escala del colorímetro se calibró antes de cada análisis con un blanco y un negro estándar. Para cada muestra se realizaron cinco mediciones tanto para la corteza como para la miga.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LA MIGA

Las características estructurales de la miga se evaluaron sobre una imagen digital, adquirida por medio de un escáner con una resolución de 300 pixel (Scanjet II cx Flatbed Hewlett–Packard, USA). El análisis fue realizado sobre la parte central de la rebanada (4 cm x 4 cm).

Las características estudiadas fueron: área media, número de alveolos/cm², superficie de los alveolos/superficie total del pan, superficie de las paredes/superficie total del pan.

ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial de los panes frescos se realizó con un panel de catadores entrenados, utilizando para la valoración una escala semi-

estructurada con valores entre 0 y 10. Los atributos evaluados fueron agrupados en características visuales, características de textura al tacto y durante la masticación, y características organolépticas.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico (ANOVA y análisis de superficie de respuesta) de las características determinadas, se realizó mediante el uso del programa Statgraphics V.7.1. (Bitstream, Cambridge, MN, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades de la masa

Las propiedades mecánicas de la masa desempeñan un papel importante tanto durante el procesado como sobre los atributos de calidad de los productos de panadería frescos y almacenados. A lo largo del proceso de panificación se producen importantes cambios en las propiedades reológicas de la masa: i) durante el amasado de los ingredientes, se produce la distribución e hidratación de los mismos provocando un estiramiento y la alineación de las proteínas del gluten; ii) durante la fermentación, se produce la expansión de las burbujas de gas que proporcionan la estructura alveolar característica del pan, iii) durante la cocción, el crecimiento de las burbujas de gas determina el aumento de volumen de la masa, así como la textura del producto horneado (Collar y Bollaín, 2005; Dobraszczyk y Morgenstern, 2003).

En la Tabla 3, se muestran los resultados de los parámetros obtenidos del análisis farinográfico para cada variable estudiada. Cuando se sustituye parte de la harina de trigo común por harina de avena se produce un aumento del parámetro de absorción de agua (R^2 99,8%). Lo mismo sucede, en mucho menor grado, si se emplea el kamut o centeno más espelta, mientras que cuando se produce la sustitución de la harina de trigo común por trigo sarraceno, se obtiene un efecto cuadrático negativo sobre dicho parámetro. En la Figura 2, se muestra la gráfica de superficie de respuesta, donde se puede observar dicho ascenso del parámetro absorción de agua desde un 60% hasta 64% para la avena, y desde 63% hasta 66% para el kamut, al máximo nivel de sustitución. Algunos estudios concluyen que la avena posee una excelente capacidad de retención de agua, debido a su alto contenido en β -glucano y la afinidad que éste manifiesta hacia el agua, lo que favorece que el pan se mantenga más fresco durante más tiempo (Hozová *et al.*, 2007; Tiwari y Cummins, 2009).

En el parámetro tiempo de desarrollo (Tabla 3), las interacciones centeno/trigo sarraceno y espelta/kamut provocan una disminución significativa de dicho parámetro, como puede observarse también en la Figura 2. En la interacción centeno/trigo sarraceno, se produce un descenso desde 9,3 min hasta 5,3 min, mientras que en la interacción espelta/kamut se produce un descenso desde 9,3 min hasta 5,8 min, al máximo nivel de sustitución. De la misma forma, el parámetro estabilidad (Tabla 3) disminuye para las interacciones centeno/espelta y trigo sarraceno/avena. Las masas preparadas con harina de espelta son, en general, de difícil manipulación por su

pegajosidad (alta extensibilidad, baja resistencia a la extensión y elasticidad) y aunque poseen un alto contenido en gluten, éste es de menor calidad en comparación con el gluten del trigo común (Bonafaccia *et al*, 2000; Kohajdová y Karovicová, 2008; Pruska-Kedzior *et al.*, 2008).

TABLA 3. Coeficientes significativos de las ecuaciones de regresión múltiple de los parámetros relacionados con las propiedades reológicas de las masas ($p < 0,05$).

Factor	Parámetros Farinógrafo				Kieffer		
	Absorción de agua %	Tiempo de desarrollo min	Estabilidad min	Índice de tolerancia UB	Ablandamiento a los 20 min UB	Extensibilidad a la rotura mm	Área g· mm
Constante	60,1	9,3	15,5	21,0	28,1 2,1980	37,0	191,3
CN							
TS							
SP							
AV	0,3460						
KM	0,0610						
CN ²							
TS ²	-0,0007					0,0570	
SP ²							
AV ²							-0,3137
KM ²							
CN*TS		-0,0176					-0,2959
CN*SP	0,0011		-0,0334				
CN*AV				0,1438			
CN*KM							
TS*SP							
TS*KM							
TS*AV			-0,0700	0,1001	0,4906		
SP*AV							
SP*KM		-0,0153				-0,0844	
AV*KM							
R ²	99,8	45,3	60,6	50,5	64,2	61,4	46,6

Variables independientes: CN (centeno), TS (trigo sarraceno), SP (espelta), AV (avena) y KM (kamut).

El índice de tolerancia al amasado (Tabla 3) aumenta para la interacción centeno/avena, y en menor medida para la interacción trigo sarraceno/avena. En cuanto al grado de ablandamiento a los 20 minutos (Tabla 3) se puede observar que el valor de dicho parámetro aumenta cuando se produce la sustitución de harina de trigo común por centeno. Además, tal y como se muestra en la Figura 2, también la interacción trigo sarraceno/avena presenta un aumento gradual del grado de ablandamiento desde 30 UB hasta 150 UB, al máximo nivel de sustitución. Un aumento en dicho parámetro provoca un efecto negativo, porque disminuye la resistencia al amasado y en consecuencia se obtiene una masa de calidad inferior.

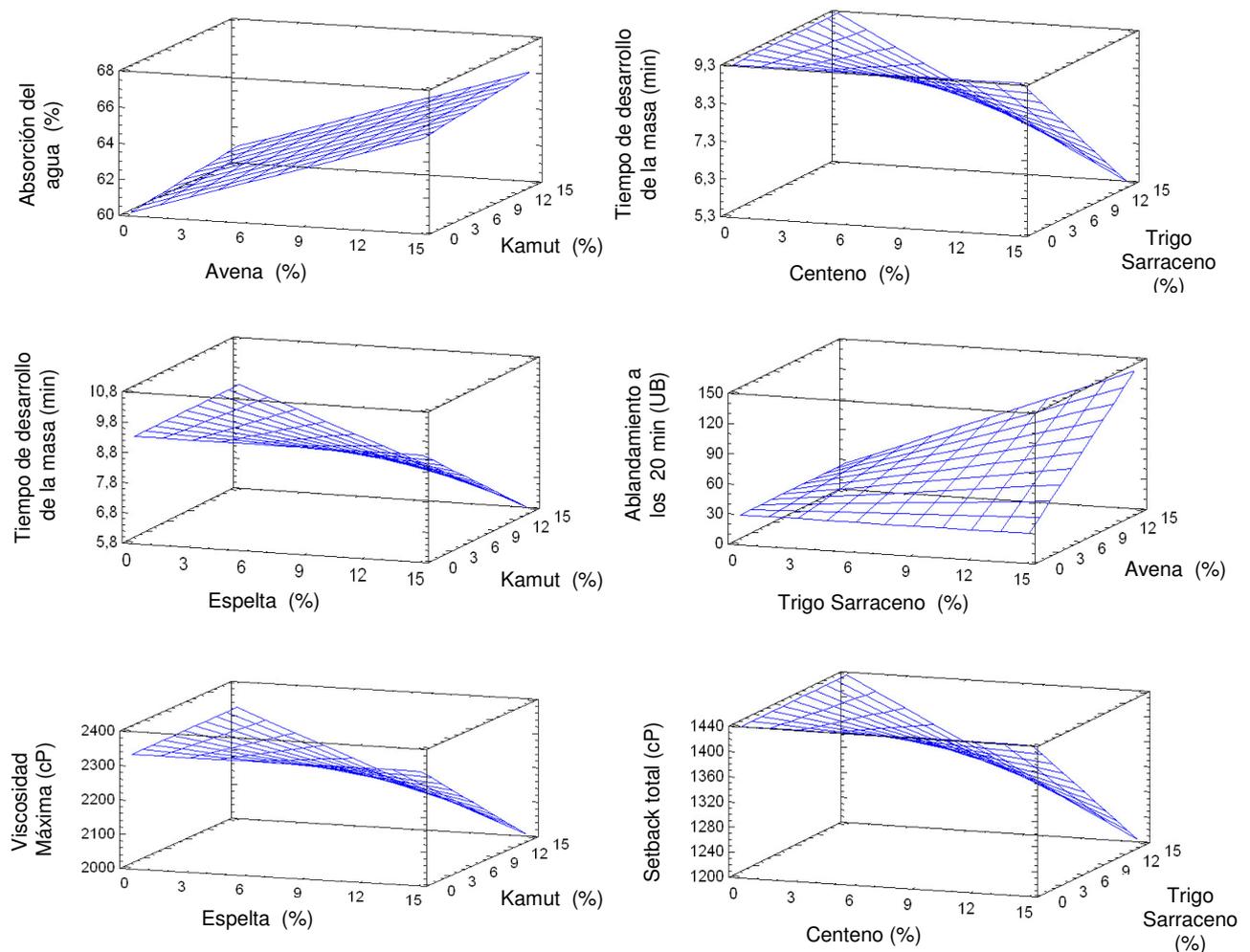


FIGURA 2. Curvas de superficie de respuesta de diferentes parámetros de la masa.

En referencia a las propiedades de extensibilidad de la masa (Kieffer, Tabla 3), la extensibilidad a la ruptura disminuye para la interacción espelta/kamut. Cuando se sustituye la harina de trigo común por trigo sarraceno, se produce un efecto cuadrático positivo sobre dicho parámetro. Mientras que el área puede considerarse como un parámetro complejo que tiene en cuenta tanto la extensibilidad de la masa como la resistencia a la extensión que ésta ofrece, por lo que representa la fuerza de la masa. Cuando se sustituye la harina de trigo por la avena y cuando hay interacción centeno/trigo sarraceno, dicho parámetro disminuye sensiblemente. En general, si la masa presenta una mayor extensibilidad, se produce un aumento en el tamaño del pan, debido a una menor probabilidad de rotura de la red glutínica durante la fermentación (Tiwari y Cummins, 2009).

Las características viscosimétricas de la masa obtenidas mediante el ensayo con el RVA se muestran en la Tabla 4. Como se puede observar, el parámetro viscosidad máxima aumenta cuando se produce la sustitución de harina de trigo común por avena; por el contrario, cuando se sustituye por centeno, dicho parámetro disminuye de forma pronunciada. Se observa también una disminución de la viscosidad máxima, para la interacción espelta/kamut (Figura 2), donde se produce un descenso desde 2300 cP hasta 2000 cP, al máximo nivel de sustitución.

El parámetro viscosidad mínima (Tabla 4), aumenta para la interacción trigo sarraceno/avena y disminuye en la interacción centeno/espelta. En cuanto al parámetro caída de viscosidad (R^2 71,2%), éste disminuye cuando se produce la sustitución de harina de trigo común por kamut, seguido de la interacción centeno/trigo sarraceno. Cuando se produce la sustitución de la harina de trigo común por trigo sarraceno, se observa un efecto cuadrático positivo sobre el parámetro viscosidad a los 95°C por el contrario, dicho parámetro disminuye para la interacción espelta/avena. La viscosidad a los 50°C presenta un comportamiento similar al descrito anteriormente para la viscosidad máxima.

TABLA 4. Coeficientes significativos de las ecuaciones de regresión múltiple de los parámetros relacionados con las características viscosimétricas de las masas ($p < 0,05$).

Factor	Parámetros de Viscosidad (RVA)					
	Viscosidad máxima cP	Viscosidad mínima cP	Caída de viscosidad cP	Viscosidad a los 95°C cP	Viscosidad a los 50°C cP	Setback total cP
Constante	2330	1338	963	214	2153	1439
CN	-29,0825				-26,9549	-7,1716
TS						
SP						
AV	13,7873				16,4501	
KM			-6,8378			
CN ²						
TS ²				0,5213		
SP ²						
AV ²						
KM ²						
CN* TS			-1,5538			-1,0295
CN*SP		-1,5884				
CN*AV						
CN*KM						
TS*SP						
TS*KM						
TS*AV		1,6334				
SP*AV				-0,2052		
SP*KM	-1,4229				-0,8996	
AV*KM						
R ²	72,0	49,8	71,2	68,3	76,7	62,8

Variables independientes: CN (centeno), TS (trigo sarraceno), SP (espelta), AV (avena) y KM (Kamut).

Por último, el parámetro *setback* total disminuye cuando se produce la sustitución de trigo común por centeno, y en menor medida para la interacción centeno/trigo sarraceno (Figura 2), en la que se produce una disminución de dicho parámetro desde 1400 cP hasta 1200 cP, al máximo nivel de sustitución.

Las propiedades viscosimétricas de las harinas de cereales se ven afectadas por la presencia de pentosanos, ácidos grasos, grasas, y gluten, a través de la competencia establecida para la formación de complejos con el almidón. Durante el horneado de la masa, se producen cambios en la viscosidad del almidón que afectan al comportamiento viscoelástico, la textura y la conservación del pan.

Los cambios en el comportamiento viscosimétrico se producen durante la gelatinización del almidón y la formación del complejo lípido-amilosa que depende de la longitud de la cadena del ácido graso, su grado de insaturación y la composición de su región hidrófila (Collar, 2003).

Durante el enfriamiento y reasociación entre las moléculas de almidón se produce la formación de la estructura de gel, debido a la acción de las amilasas, y es entonces cuando la viscosidad aumenta hacia el punto de viscosidad final. Esta fase es comúnmente descrita como la región *setback* y corresponde con la retrogradación y reorganización de las moléculas de almidón.

En el caso del centeno, los resultados obtenidos para dicho parámetro suelen ser negativos (Ragae y Abdel-Aal, 2006). Autores como Skrabanja *et al.* (2001), comentan en sus estudios sobre el trigo sarraceno que este pseudo-cereal posee un bajo contenido en almidón resistente, debido al menor tamaño de sus gránulos de almidón, y por tanto una mayor susceptibilidad a la acción enzimática de las amilasas.

En la Tabla 5, se puede observar la comparación entre los valores de las características reológicas obtenidos para la masa de harina de trigo común (blanco), y para la masa obtenida de la mezcla de varios cereales (multicereal). Se produce un incremento de los parámetros dureza (+33,77%), gomosidad (+11,67%) y adhesividad (+3,79%) en la masa multicereal frente a los valores obtenidos para la masa de trigo común. Sin embargo, los valores obtenidos para los parámetros cohesividad, capacidad de recuperación instantánea, elasticidad y viscosidad son superiores para la masa de trigo común frente a la masa multicereal.

TABLA 5. Características reológicas de la masa y propiedades reológicas, estructurales y sensoriales del pan.

Parámetros	Características reológicas	
	Masa	
	Multicereal	Blanco
Dureza, g	4329b	2867a
Cohesividad	0,46a	0,59b
Cap. de recuperación instantánea	0,08a	0,10b
Elasticidad recuperada retardada	0,85a	0,91b
Gomosidad, g·s	1918b	1694a
Adhesividad, g·s	6214b	5978a
G' , Pa	8855a	9477b
G'' , Pa	4045a	4201b
η^* , Pa·s	1553a	1650b
η' , Pa·s	644a	668b
η'' , Pa·s	1409a	1508b
δ , °	25a	24a

Propiedades reológicas, estructurales y sensoriales		
Parámetros	Pan	
	Multicereal	Blanco
Dureza, g	141a	148a
Cohesividad	0,86a	0,88a
Cap. de recuperación instantánea	0,51a	0,54b
Elasticidad recuperada retardada	0,99a	0,99a
Masticabilidad	111a	130b
Área media alveolo, cm ²	0,36a	0,42b
Área alveolo/ Área total	20,04a	75,88b
Área pared alveolo/ Área total	79,96b	67,88a
Intensidad de Aroma	2,9a	4,0b
Tipicidad de aroma	5,4a	6,5b
Aroma a fresco	7,7a	9,0b
Humedad al tacto	6,6a	8,0b
Elasticidad al tacto	8,0a	8,0a
Suavidad al tacto	6,5a	8,0b
Carácter blando	7,5a	8,0a
Suavidad	8,0b	7,0a
Adhesividad	1,9a	3,0b
Cohesividad	5,3a	8,0b
Masticabilidad sensorial	4,6a	8,0b
Humedad en la boca	7,1a	7,0a
Intensidad del sabor	3,6a	3,0a
Tipicidad de sabor	6,2a	6,0a

Nota: La misma letra dentro de la misma fila significa que no hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores (medias generales).

Propiedades del pan

De todas las características del pan, una de las más apreciadas por los consumidores es la textura (Angioloni y Collar, 2009). En la Tabla 5 se puede observar que presentan valores ligeramente superiores para el pan blanco los parámetros de dureza (+4,72%), cohesividad (+2,27%), capacidad de recuperación instantánea (+5,55%) y masticabilidad (+14,60%), frente a los obtenidos para el pan multicereal, aunque no todos presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos. En referencia a las propiedades estructurales (Tabla 5), se obtuvieron valores superiores para los parámetros área media del alveolo (+14,28%) y área alveolo/área total (+73,58%) para el pan blanco que para el pan elaborado con masa de harina multicereal. Un pan de buena calidad debe tener una miga fina y con alta porosidad, además de una estructura celular regular.

En cuanto a las propiedades sensoriales (Tabla 5), el pan blanco destaca positivamente para la mayoría de los parámetros evaluados. Únicamente, los parámetros suavidad (+12,5%), humedad (+1,4%), intensidad del sabor (+16,66%) y sabor típico (+3,22%) son superiores para el pan multicereal.

En la Figura 3 se pueden observar las imágenes de un conjunto de muestras seleccionadas a partir de las 28 formulaciones analizadas. La muestra 25 destaca del resto por su color, similar al del pan blanco, mayor tamaño y miga de aspecto compacto; dicha muestra fue la más apreciada por los catadores (Figura 4), y además, en la Tabla 2, se puede observar que posee un menor grado de sustitución del cereal kamut y por ello su aspecto es similar a una rebanada de pan blanco. La siguiente muestra con mejor aceptación global fue la muestra 5 (Figura 4), que posee un alto contenido de trigo blanco en su formulación y un grado de sustitución igual para el resto de los cereales (Tabla 2). Se observa para dicha muestra una miga más abierta, un aspecto menos compacto y además un color blanquecino (Figura 3).

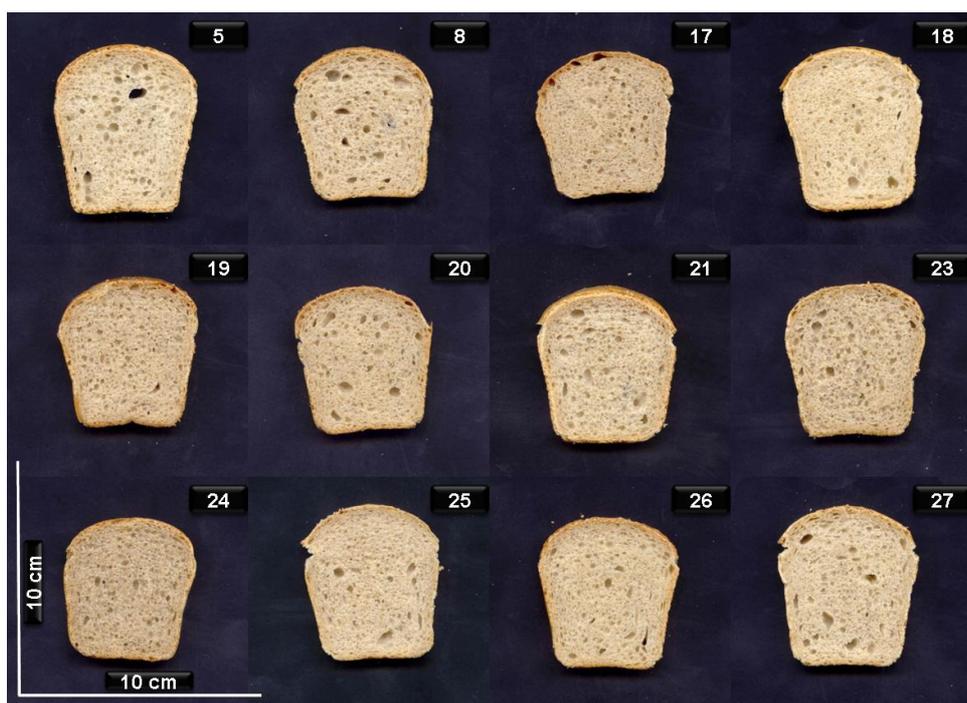
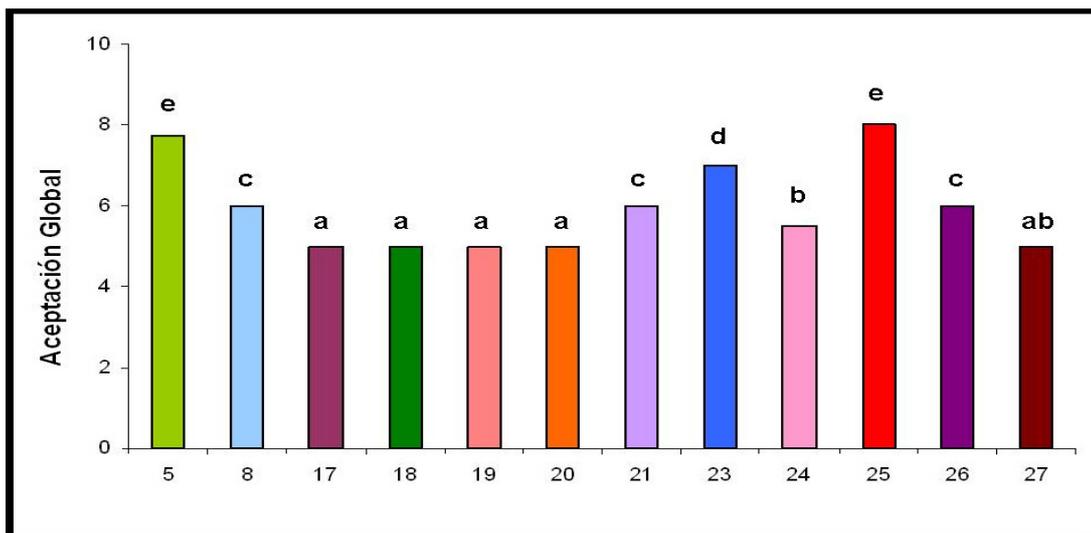


FIGURA 3. Análisis de imagen de un conjunto de muestras de pan.

Por el contrario, las muestras número 17 (alto grado de sustitución de trigo común por centeno), 19 (alto grado de sustitución de trigo común por espelta), y 20 (alto grado de sustitución de trigo común por kamut), fueron valoradas negativamente por los catadores, y por eso presentaron una menor aceptación global (Figura 4). En la Figura 3 se puede observar que dichas muestras tienen un aspecto compacto, color oscuro y un tamaño pequeño.

La muestra 18 (Figura 4), aunque también fue valorada negativamente por los catadores, posee un menor grado de sustitución de trigo común por trigo sarraceno (Tabla 2), y en consecuencia, un gran tamaño y color blanquecino (Figura 3).



Nota: La misma letra significa que no hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores.

FIGURA 4. Representación gráfica de la aceptación global de un conjunto de muestras de pan.

CONCLUSIONES

El diseño estadístico realizado ha permitido establecer la dosis máxima de sustitución de harina de trigo común por harinas de otros cereales menores y/o pseudocereales para poder ser utilizados en panificación.

La caracterización de la respuesta funcional integrada de las matrices mixtas, durante el proceso de obtención de masas panarias, ha evidenciado diferencias significativas en las propiedades reológicas, tanto empíricas como fundamentales, de los sistemas estudiados.

La caracterización tecno-funcional de los panes obtenidos ha puesto en evidencia que los niveles de sustitución estudiados no perjudican significativamente la calidad del pan y que por lo tanto sería necesario emprender estudios ulteriores en donde se ensayaran niveles más altos de sustitución a fin de obtener productos panarios sensorialmente aceptados y con valor nutricional añadido.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aal, E.S.M. 2008. Effects of baking on protein digestibility of organic spelt products determined by two *in vitro* digestion methods. *Food Science and Technology*, 41:1282-1288.
- Angioloni, A.; Collar, C. 2009. Bread crumb quality assessment: a plural physical approach. *Europe Food Research Technology*, 229:21-30.
- Bach Knudsen, K.E.; Johansen, H.N.; Glitsø, V. 1997. Rye dietary fiber and fermentation in the colon. *Cereal Foods World*, 42(8):690-694.
- Bonafaccia, G.; Galli, V.; Francisci, R.; Mair, V.; Skrabanja V.; Kreft, I. 2000. Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chemistry*, 68:437-441.
- Charalampopoulos, D.; Wang, R.; Pandiella, S.S.; Webb, C. 2002. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 79:131-141.
- Collar, C.; Andreu, P.; Martínez, J. C.; Armero, E. 1999. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: A response surface methodology study. *Food Hydrocolloids*, 13(6):467-475.
- Collar, C.; Martínez, J. C.; Andreu, P.; Armero, E. 2000. Effects of enzyme association on bread dough performance. A response surface analysis. *Food Science and Technology International*, 6(3):217-226.
- Collar, C. 2003. Significance of viscosity profile of pasted and gelled formulated wheat doughs on bread staling. *European Food Research and Technology*, 216:505-513.
- Collar, C.; Bollain, C. 2005. Relationships between dough functional indicators during bread making steps in formulated samples. *European Food Research and Technology*, 220:372-379
- Dewettinck, K.; Van Bockstaele, F.; Kühne, B.; Van de Walle, D.; Courtens, T.M.; Gellynck, X. 2008. Review. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48:243-257.
- Dobraszczyk, B.J.; Morgenstern, M.P. 2003. Review. Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38:229-245.
- Edwardson, S. 1996. Buckwheat: Pseudocereal and nutraceutical. En: Janick, J. (ed). *Progress in new crops*. ASHS Press, Alexandria VA, 195-207.
- Flander, L.; Salmenkallio-Marttila, M.; Suortti, T.; Autio, K. 2007. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *Food Science and Technology*, 40:860-870.
- Gómez, M.; Pardo, J.; Oliete, B.; Caballero, P. A. 2009. Effect of themilling process on quality characteristics of rye flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89:470-476.
- Hozová B.; Kuniak L.; Moravčíková P.; Gajdošová A. 2007. Determination of water-insoluble β -D-glucan in the whole-grain cereals and pseudocereals. *Czech Journal of Food Science*, 25: 316-324.
- ICC. 1976-1996. *Standard Methods of the International Association for Cereal Chemistry*. 104/1, 105/2, 107/1, 110/1, 115/1, 121, 136, 155, and 162. The Association, Vienna.
- Kieffer, R.; Wieser, H.; Henderson, M. H.; Graveland, A. 1998. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *Journal of Cereal Science*, 27:53-60.
- Kim, S.; Park, C. 2004. Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable. *Food Research International*, 37:319-327
- Kohajdová, Z.; Karovicová, J. 2008. Nutritional value and baking applications of spelt wheat. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 7(3):5-14.
- Lazaridou, A.; Biliaderis, C.G. 2007. Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science*, 46:101-118.
- Lopez, H.W.; Adam, A.; Leenhardt, F.; Scalbert, A.; Remesy, C. 2001. Control of the nutritional value of bread. *Industries des Cereales*, 124:15-20.
- Mariotti, M.; Lucisano, M.; Pagani, M.A.; Lametti, S. 2008. Macromolecular interactions and rheological properties of buckwheat-based dough obtained from differently processed grains. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56:4258-4267.

- Östman, E.; Rossi, E.; Larsson, H.; Brighenti, F.; Björck, I. 2006. Glucose and insulin responses in healthy men to barley bread with different levels of (1-3,1-4)- β -glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests. *Journal of Cereal Science*, 43:230-235.
- Prättälä, R.H.; Helasoja, V.; Mykkänen, H. 2001. The consumption of rye bread and white bread as dimensions of health lifestyles in Finland. *Public Health Nutrition*, 4(3):813-819.
- Pruska-Kedzior A.; Kedzior Z.; Klockiewicz-Kaminska, E. 2008 Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. *Europe Food Research and Technology*, 227:199-207.
- Quinn, R.M. 1999. Kamut®: Ancient Grain, New Cereal. En: Janick, J. (ed). *Progress in new crops*. ASHS Press, Alexandria VA, 182-183.
- Ragaei, S.; Abdel-Aal, E.S.M. 2006. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry*, 95:9-18.
- Scazzina, F.; Del Rio, D.; Serventi, L.; Carini, E.; Vittadini, E. 2008. Development of nutritionally enhanced tortillas. *Food Biophysics*, 3:235-240.
- Siega-Riz, A.M.; Poplin, B.M.; Carson, T. 2000. Differences in food patterns at breakfast by sociodemographic characteristics among a nationally representative sample of adults in the United States. *Preventive Medicine*, 30:415-424.
- Skrabanja, V.; Liljeberg, H.; Kreft, I.; Björck, I.M.E. 2001. Nutritional properties of starch in buckwheat products: studies in vitro and in vivo. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 490-496.
- Smewing, J. 1995. The measurement of dough and gluten extensibility using the SMS/Kieffer rig and the TA.XT2 texture analyser. Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK.
- Tiwari, U.; Cummins, E. 2009. Review. Factors influencing β -Glucan levels and molecular weight in cereal-based products. *Cereal Chemistry*, 86(3):290-301.