



# **ENRIQUECIMIENTO DE PAN DE FLAMA Y PAN DE MOLDE CON $\beta$ -GLUCANOS DE CEBADA Y AVENA. EVALUACIÓN DE SU CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Curso 2012/2013**

**Alumna: Camino Martínez Mancebo**

**Tutora: Felicidad Ronda Balbás**

**Tutor: Pedro Antonio Caballero Calvo**

**Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos**  
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera  
Universidad de Valladolid



## **Resumen**

Los cereales como la avena y la cebada son interesantes debido a su relativamente alto contenido de polisacáridos no amiláceos solubles, de los cuales los  $\beta$ -glucanos representan un especial beneficio para la salud. En el presente estudio se han elaborado panes de flama y molde enriquecidos con  $\beta$ -glucano de avena y cebada en concentraciones que aportan mediante la ingesta diaria de pan (250 g pan/día) la cantidad que, según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), permite reducir los niveles séricos de colesterol, es decir, 3 g de  $\beta$ -glucanos/día. También se han elaborado panes con una dosis mitad de la anterior. Se ha analizado el efecto de este enriquecimiento sobre el desarrollo de las masas en la fermentación y sobre la calidad y vida útil de los productos finales, utilizando para ello tanto medidas instrumentales como sensoriales. La adición de  $\beta$ -glucano causó un aumento en la absorción de agua de las masas. En los panes obtenidos se apreció una disminución significativa del volumen específico así como un aumento también significativo de la dureza, incrementándose estos efectos con el aumento de la dosis. Se han encontrado diferencias significativas por la incorporación de  $\beta$ -glucano en los parámetros que definen el color, disminuyendo la luminosidad y el tono de la corteza. En general, el  $\beta$ -glucano de cebada ejerció un efecto menor que el  $\beta$ -glucano de avena (de mayor peso molecular) en los parámetros analizados. Añadido a esto, estos efectos fueron más acusados en los panes de flama que en los panes de molde.

Palabras clave: beta-glucano, cebada, avena, pan de flama, pan de molde, calidad de pan.

## **Abstract**

Oats and barley cereals have gained growing interest due to their relative high content in non-amyloseous insoluble polysaccharides. Among them, beta-glucans have been attributed special health benefits. This work set out to produce French bread and pan bread with an enrichment in oats and barley beta-glucans. The concentration added was such that through the daily bread intake, 250g bread/day, the beta-glucans intake recommended by the European Food Safety Agency (EFSA) would correspond to 3g/day, an amount that may help to lower cholesterol in blood. Additionally, bread containing half of the beta-glucans amount mentioned before has also been produced. This work was aimed at gaining a better understanding of the effects of beta-glucan enrichment in dough development and in the quality and shelf life of the final products. Our methods include both instrumental and sensorial measurements. Our results show

that beta-glucan addition leads to an increased water absorption in the dough. In the obtained bread, we observed a significant reduce in the specific volume as well as a significant increase in the hardness, being these effects stronger when increasing the dosage. The addition of beta-glucan led to significant differences in parameters defining color, including reduced brightness and crust tone changes. Generally, oats beta-glucan (which had higher molecular weight) had a greater impact than barley beta-glucan addition in the analyzed parameters. In addition, these effects were stronger in French bread than in pan bread.

Keywords: beta-glucan, barley, oat, French bread, pan bread, bread quality.

## **1. Introducción**

En las últimas décadas ha habido un creciente interés en los beneficios de los cereales que contiene  $\beta$ -glucanos, especialmente avena y cebada. En general los  $\beta$ -glucanos son un componente importante de la fibra alimenticia soluble y presentan un carácter multifuncional. En particular, han demostrado tener un efecto positivo en la reducción de la hiperglucemia y la hiperinsulinemia, en relación con el control de la diabetes y la reducción de los factores de riesgo para las enfermedades degenerativas, tales como la obesidad, hiperlipidemia, enfermedades cardiovasculares, cáncer y la hipertensión (Brennan y Cleary, 2005).

Numerosos estudios han revelado que los  $\beta$ -glucanos están relacionados con las propiedades hipocolesterolémicas de la avena y la cebada, y de los alimentos que contienen estos granos, a través de la disminución de la absorción intestinal de colesterol y ácido bílico por su interacción con los glucanos. Esta propiedad puede ser consecuencia de la capacidad de aumentar la viscosidad del contenido intestinal (Brennan y Cleary, 2005).

Los 1,3 beta-glucanos también mejoran las defensas del sistema inmunológico humano contra invasores externos optimizando la habilidad de macrófagos, neutrófilos y otras células asesinas para responder y combatir un amplio rango de amenazas tales como bacterias, virus, hongos y parásitos (Havrlentová et al., 2011).

Los  $\beta$ -glucanos son polisacáridos no amiláceos compuestos de enlaces (1,3) y (1,4) de glucosa. Están formados por cadenas de unidades de D-glucosa con enlaces glucosídicos tipo beta. Estos anillos D-glucosa pueden ser conectados unos a otros, en una variedad de posiciones en la estructura del anillo de D-glucosa. La forma más activa de los  $\beta$ -glucanos son los que integran unidades de Dglucosa unidas unas a otras en la posición (1,3).

Las mayores fuentes de  $\beta$ -glucanos son los granos de cereales, predominantemente de cebada y avena y, en un grado menor, en el centeno y el trigo, localizándose en su mayoría en la aleurona interna y las paredes celulares del endospermo (Havrlentová et al., 2011). La versión beta (1,3) D-glucanos que se extrae de los granos tienden a ser tanto solubles como insolubles. Otras fuentes de  $\beta$ -glucano incluyen algunos tipos de algas y varias especies de hongos (Tiwari y Cummins, 2009).

Su tamaño molecular y su concentración, así como sus características moleculares, son variables importantes en la determinación de las propiedades físicas de los polímeros resultantes, tales como solubilidad, viscosidad y capacidad de formación de gel (Skendi et al., 2003; Vaikousi et al., 2004).

Los  $\beta$ -glucanos se pueden utilizar, desde el punto de vista tecnológico como agentes espesantes para modificar la textura en sopas y bebidas y también en el desarrollo de alimentos bajos en calorías por su potencial para ser utilizados como sustitutos de la grasa debido a su alta viscosidad, capacidad de unión con el agua y sus capacidades de formación de espuma y estabilizante de la emulsión.

La incorporación de fracciones enriquecidas con  $\beta$ -glucanos de avena y cebada en los alimentos a base de cereales ha sido ampliamente estudiada. A pesar de que la incorporación de  $\beta$ -glucanos tiene mucho potencial para la salud y beneficios nutricionales, las propiedades físico-químicas de  $\beta$ -glucano puede provocar cambios en el pan, incluyendo una reducida extensibilidad de la masa, así como la reducción de la longitud del pan, volumen y cambios en la estructura de la miga (Symons y Brennan, 2004), que puede resultar en una reducción de la aceptación del consumidor. Su adición en altos niveles de concentración (10-30%) en panes conduce a una alta retención de agua, así como un producto final de color más oscuro y efectos no deseados en textura de la miga, como aumento de su firmeza y reducción del volumen de pan (Cavallero et al., 2002; Izydorczyk y Dexter, 2008; Knuckles et al., 1997; Newman et al., 1998), también evidenciaron una reducción del volumen de pan con la adición de las fracciones de la cebada. Por el contrario, otros autores han encontrado que una adición de fracciones ricas en  $\beta$ -glucano de avena y cebada pueden provocar un aumento de los volúmenes de pan cuando se usa en concentraciones 1-5 % en la harina de trigo (Ahmad et al., 2008). Se considera que el  $\beta$ -glucano aumenta la vida útil del pan y que en algunos casos puede mejorar la estructura de la miga mediante la estabilización de las burbujas de aire en la masa y previniendo su coalescencia (Lazaridou y Biliaderis, 2007).

En general el estudio de productos de panadería enriquecidos en  $\beta$ -glucano se ha focalizado en la sustitución total o parcial de harina de trigo refinada por harina de

cebada o de avena, siendo pocos los estudios en los que se ha incorporado  $\beta$ -glucano aislado a la formulación de pan con harina de trigo. El empleo de un aislado de  $\beta$ -glucano extraído de cebada (*Hordeum vulgare*) también ha sido utilizado. Un producto comercial de estas características (Glucage<sup>TM</sup>) se incorporó en panes en dosis 2,5 y 5% observándose cambios negativos en la calidad de la masa y el rendimiento de horneado. La inclusión de Glucage en los panes resultó en una disminución significativa en el volumen y la altura del pan, reducción que aumentaba con el aumento de la dosis (Brennan y Cleary, 2007).

También se ha investigado el efecto de la fortificación de harina de trigo de diferente calidad panadera con dos  $\beta$ -glucanos de cebada de distinto peso molecular (Mw:  $1.00 \times 10^5$  y  $2.03 \times 10^5$ ). La adición de  $\beta$ -glucano incrementó el tiempo de desarrollo de la masa, la estabilidad, la resistencia a la deformación y la extensibilidad de las masas de harina de pobre calidad panadera, así como el volumen específico de los panes, excediendo incluso a los panes de harina de mejor calidad. Además, el color de la miga de pan se oscureció y su estructura se hizo más densa, mientras que la firmeza de la miga de pan disminuyó con el aumento de nivel de adición  $\beta$ -glucano. Se concluyó que el  $\beta$ -glucano de mayor peso molecular ejerció un mejor efecto (Skendi et al., 2010).

Algunos autores han constatado la importancia del empleo de cantidades de agua elevadas en las fórmulas de elaboración de panes de trigo y de avena enriquecidos con fracciones de  $\beta$ -glucano, para conseguir volúmenes optimizados de pan. (Gormley y Morrissey, 1993; Oomah y Lefkovitch, 1988) obtuvieron los mayores volúmenes de pan mediante la adición de gluten y agua extra para pan que contenía 5-20 g de copos de avena por cada 100 g de harina de trigo. Otros autores también obtuvieron buenos resultados con la sustitución parcial de harina de trigo por harina de avena tras la optimización de las concentraciones de gluten y agua en los panes (Flander et al., 2007). La reducción de las barras de pan con fibra dietética soluble de avena probablemente se debe a la inhibición del desarrollo del gluten. Aumentar el nivel de  $\beta$ -glucano sin un aumento del contenido en gluten resultó en un volumen de barra reducido y por tanto unos panes insatisfactorios. Mohamed et al., (2008) incorporaron un concentrado de  $\beta$ -glucano (C-TRIM) y añadieron diferentes concentraciones de gluten obteniendo resultados satisfactorios.

Otras soluciones para solventar la disminución de volumen han sido consideradas. En un estudio se elaboraron panes con una composición de harinas 60% de trigo y 40% de cebada desnuda con volúmenes aceptables debido a la incorporación de xilanasa activa durante la panificación, es decir, una xilanasa insensible a la inhibición por el

inhibidor de xilanasa *Triticum aestivum L.* y a la proteína represora de xilanasa (Trogh et al., 2004). Además, la xilanasa no sólo mejoró notablemente el volumen de la barra de pan, sino que también aumentó el contenido de arabinosilanos soluble en las muestras de masa y pan.

En el presente estudio se ha investigado el efecto de dos  $\beta$ -glucanos de diferente origen (avena y cebada) y peso molecular (1900 KDa y 125 KDa, respectivamente), incorporados a dos tipos de elaboraciones (pan de flama y pan molde) para observar las diferencias entre ambas. Hasta ahora no se ha investigado el efecto de los  $\beta$ -glucanos en pan de molde cuya calidad de harina, formulación y características del pan final son claramente distintas de las del pan de flama, lo que resulta interesante en este estudio.

Con ánimo de prevenir la inhibición del desarrollo de la red de gluten en nuestro trabajo, se han utilizado harinas de fuerza mayor a la habitual en las elaboraciones de pan de flama y pan de molde y se incorporó el agua adaptada a las condiciones de harina y concentración de  $\beta$ -glucano según los resultados de los ensayos farinográficos. Las dosis de  $\beta$ -glucano estudiadas equivalieron a la cantidad de fibra necesaria para reducir los niveles de colesterol, 3 g al día (EFSA 2011), suponiendo que dicha cantidad es exclusivamente aportada por el pan (con una ingesta diaria de 250 g de pan) También se estudió una dosis mitad de esa cantidad. Asimismo, se ha estudiado y comparado el efecto de este enriquecimiento sobre el desarrollo de las masas en la fermentación y sobre la calidad y vida útil de los productos finales elaborados, utilizando para ello tanto medidas instrumentales como sensoriales.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Materias primas**

El  $\beta$ -glucano de avena PromOat™ (Biovelop, Kimstad, Suiza) es una fracción de avena de grano entero molido, derivada del salvado, que es procesado usando enzimas y procesos de separación física. Presenta una pureza de 33 % y contiene carbohidratos (dextrina) 54-56 %, proteína < 4,5 %, cenizas 1-3 % y grasas 0,5-1 %. Con un peso molecular de  $1,9 \times 10^6$  Da.

El  $\beta$ -glucano de cebada de marca comercial Glucagel™ fue suministrado gratuitamente por DKSH, (Hamburgo, Alemania). Presenta una pureza de 76,71 % db y contiene un total de hidratos de carbono de 89,98 %, proteína 4,75 %, lípidos 1,32%, cenizas 1,43 % y humedad 2,52%. Con un peso molecular de 125 kDa.

Las harinas utilizadas fueron de dos tipos de fuerza: Para la elaboración del pan de flama se empleó una harina de fuerza de 240 W y P/L de 0,86 de Harinas A.L. Linares

S.A (Briviesca, España). Para la elaboración de pan de molde se empleó harina de W=480 y P/L de 1,19 procedente de la Harinera Arandina S.A (Burgos, España). Ambas fueron harinas de trigo con un 70 % de extracción, menos de 0,25 % de fosfato monocálcico (E-341) Y 0,02 % de ácido ascórbico (E-300). La harina de soja comercializada por Emilio Esteban S.A. (Renedo de Esgueva, España) y el mejorante panario precocido ACTI-PLUS de Puratos (Girona, España) contenía antiaglomerante E-170, harina de trigo, estabilizante E-412, antioxidante E-300 y enzimas. Otros ingredientes que se han utilizada para la elaboración de los panes son: levadura de panadería seca instantánea “European” (Estambul,Turquía), azúcar blanco 100 % ACOR (Olmedo, España), sal vacuum refinada centrifugada alimenticia “Disal” (Madrid, España), mantequilla en bloque de 5 kg con un mínimo de 82 % en materia grasa “Pascual” (Aranda de Duero, España), leche líquida UHT entera “Cerrato” (Palencia, España).

## **2.2 Métodos**

### 2.2.1. Caracterización de las harinas mediante ensayos farinográficos

La capacidad de absorción de agua y el comportamiento de las masas en el amasado, tanto de las harinas de trigo sin enriquecer como enriquecidas con  $\beta$ -glucano, se establecieron mediante ensayos farinográficos. Se contó con la colaboración de Europastry S.A. (Tarragona, España) para la realización de los ensayos utilizando un Farinógrafo 810-105 (Brabender, Germany) y siguiendo el método AACC 54-21.01 (AACC, 2009). Los ensayos se realizaron por duplicado.

La información que obtuvimos con el farinógrafo fue la siguiente:

- Absorción de agua (%): Cantidad de agua añadida para conseguir una consistencia de 500 FU. El resultado se ha emitido referido a una humedad de referencia del 14%.
- Tiempo de desarrollo de la masa (s): Tiempo desde la adición del agua hasta alcanzar la máxima consistencia antes de la primera indicación de debilitamiento.
- Estabilidad de la masa (s): El intervalo de tiempo entre el primer y segundo punto de intersección del trazo superior de la curva del farinógrafo con la línea de consistencia 500 (FU).
- Decaimiento a 10 min (FU): Decaimiento tras 10 minutos de ensayo.
- Decaimiento a 12 máxima (FU): Decaimiento tras 12 minutos de ensayo tras alcanzar el valor máximo.



### 2.2.2. Ensayos de fermentación de las masas

Se utilizó un Reofermentómetro (Chopin, Tripette and Renaud, Francia) para evaluar el desarrollo de la masa, la producción y liberación de gas en función del tiempo de fermentación siguiendo el protocolo descrito por Chopin. La preparación de la masa se realizó en el alveógrafo tal y como indica el protocolo, siendo la cantidad de agua añadida la calculada a partir del porcentaje de absorción de agua obtenido en los ensayos farinográficos. Las condiciones en el reofermentómetro fueron las siguientes: temperatura 28,5 °C, duración 180 min, cantidad de masa 315 g y peso 2000 g.

### 2.2.3. Formulaciones y elaboración de los panes

Se ha seguido un intenso proceso de aprendizaje para realizar panificaciones semejantes a las llevadas a cabo en un obrador convencional, siguiendo sus mismas formulaciones, técnicas, instrumental y maquinaria. Para ello se hicieron 20 elaboraciones de pan control, tanto de flama como de molde, para perfeccionar la técnica y así minimizar las variaciones debidas al proceso. Añadido a esto se estableció un óptimo de tiempo de amasado, fermentación y horneado para las condiciones de fuerza de las harinas, contenido en agua, contenido en levadura, tipo de pan y el tipo de amasadora y horno utilizado. Una vez establecidas las condiciones óptimas de proceso se realizaron y evaluaron un total de 10 elaboraciones (5 de pan de flama y 5 de pan de molde) con dos tipos de  $\beta$ -glucano (cebada y avena) y con tres concentraciones de  $\beta$ -glucano diferentes (ausencia, 0,9 % y 1,8 % en harina).

**Tabla 1:** Formulación de pan de flama control y pan de molde control (sin enriquecer en  $\beta$ -glucano)

Ingredientes	Flama		Molde	
	Concentración (% en base harina)	Cantidad de ingrediente (g)	Concentración (% en base harina)	Cantidad de ingrediente (g)
Harina*	100	2000	100	2000
Agua	57	1140	35	700
Levadura	2	40	4	80
Sal	2	40	2	40
Mejorante panario	0,5	10	0,5	10
Leche líquida	-	-	35	700
Mantequilla	-	-	5	100
Azúcar	-	-	2,5	50
Harina de soja	-	-	1	20

\*Harina de W=240 (h1) para pan de flama y harina de W=480 (h2) para el pan de molde.

El instrumental y maquinaria utilizado ha sido el mismo para ambos tipos de pan: Balanza CELY PS15 (Euskadi, España), amasadora de brazos marca P.PRANT S.A. tipo 0 X (Sabadell, España), formadora marca salva modelo 1406/96 tipo F-700-S (Rentería, España), estufa de fermentación modelo 93 tipo FCK-12 (Rentería, España) y horno de convección marca salva modelo 87 tipo KB-1 (Guipuzkoa, España).

Las fórmulas empleadas para la elaboración de los panes de flama y molde se describen en la tabla 1.

El contenido de agua de las fórmulas con  $\beta$ -glucano se incrementó teniendo en cuenta los resultados farinográficos, añadiendo la cantidad adicional de agua establecida para las diferentes dosis de  $\beta$ -glucano en la harina (Tablas 2 y 3). Las cantidades del producto comercial de  $\beta$ -glucano (de avena o cebada), también incluidas en las tablas 2 y 3 se calcularon para que la ingesta diaria de 250 g de pan aportasen 3 g de  $\beta$ -glucano, la dosis diaria recomendada por la EFSA para la reducción del colesterol en sangre, y una dosis mitad. En un caso la ingesta exclusiva de pan aportaría la cantidad de  $\beta$ -glucano requerida mientras que en el otro representaría solo un aporte significativo, aunque no el total. Para conseguir estos aportes de  $\beta$ -glucano, contando con las fórmulas de pan previamente descritas y suponiendo unas pérdidas en el horneado de 20 %, se concluyeron unos porcentajes de  $\beta$ -glucano con respecto a la harina de 1,8 % y 0,9 %. Teniendo en cuenta la pureza de los productos comerciales de avena y cebada las cantidades en las elaboraciones fueron sensiblemente superiores (Tablas 2 y 3).

**Tabla 2:** Cantidades de agua y  $\beta$ -glucano utilizadas en las elaboraciones de pan de flama

Elaboración de pan de flama	Agua		$\beta$ -glucano	
	En porcentaje de harina (%)	En peso (g)	En porcentaje de harina (%)	En peso (g)
Control	57	1140	0	0
BBGB	64	1280	1,25	25
BBGA	67	1340	2,5	50
OBGB	65	1300	2,73	54,5
OBGA	71	1420	5,45	109

- BBGB:  $\beta$ -glucano de cebada en la dosis menor. – BBGA:  $\beta$ -glucano de cebada en la dosis mayor.

- OBGB:  $\beta$ -glucano de avena en la dosis menor. – OBGA:  $\beta$ -glucano de avena en la dosis mayor.

**Tabla 3:** Cantidades de agua y  $\beta$ -glucano utilizadas en las elaboraciones de pan de molde

Elaboración de pan de flama	Agua		$\beta$ -glucano	
	En porcentaje de harina (%)	En peso (g)	En porcentaje de harina (%)	En peso (g)
Control	35	700	0	0
BBGB	41,5	830	1,25	25
BBGA	46,7	934	2,5	50
OBGB	42,7	854	2,73	54,5
OBGA	48,8	976	5,45	109

- BBGB:  $\beta$ -glucano de cebada en la dosis menor. – BBGA:  $\beta$ -glucano de cebada en la dosis mayor.

- OBGB:  $\beta$ -glucano de avena en la dosis menor. – OBGA:  $\beta$ -glucano de avena en la dosis mayor.

### 2.2.3.1. Proceso de elaboración de pan de flama

Se pesaron todos los ingredientes y se añadieron a la amasadora a excepción de la levadura. Se amasaron durante 4 minutos, tras los cuales se añadió la levadura y se siguió amasando 9 minutos más, resultando un tiempo de amasado total de 13 minutos. La temperatura del agua utilizada se seleccionó para que la de la masa tras el amasado fuese  $(24 \pm 1) ^\circ\text{C}$ . Para ello se controló la temperatura de la harina y la del obrador y se empleó la relación:  $T_{\text{obrador}} + T_{\text{harina}} + T_{\text{agua}} = 58 ^\circ\text{C}$ .

Posteriormente, se dividió la masa en piezas de 200 gramos, se bolearon y dejaron reposar en bola durante 15 minutos. Transcurrido ese tiempo se formaron las piezas y colocaron sobre tableros de tela para introducirlos en la cámara de fermentación y fermentar a  $29 ^\circ\text{C}$  y 75 % de humedad durante 90 minutos. Tras la fermentación, se realizaron cortes longitudinales y cocieron las barras a  $185 ^\circ\text{C}$  durante 20 minutos con 10 segundos de vapor al inicio del horneado. Por último, se enfriaron durante una hora antes de proceder a su caracterización. Dos de ellos se utilizaron para la caracterización en fresco, cinco se envasaron en bolsas de polietileno y se mantuvieron en una cámara frigorífica a  $(4 \pm 1) ^\circ\text{C}$  durante 1, 3, 5, 7 y 9 días de almacenamiento respectivamente, para evaluar la vida útil y el resto se congelaron para la evaluación sensorial.

### 2.2.3.2. Proceso de elaboración del pan de molde

Una vez pesados todos los ingredientes, se pusieron en la amasadora, excepto la levadura y la mantequilla, y se amasaron 7 minutos. Seguidamente, se incorporó la levadura y se amasaron otros 3 minutos, tras los que se añadió la mantequilla y se prolongó el amasado otros 5 minutos, siendo el tiempo de amasado total de 15 minutos. La temperatura del agua utilizada se seleccionó para que la de la masa tras el amasado fuese  $(24 \pm 1) ^\circ\text{C}$ . Para conseguir esta temperatura en la masa, en este caso se empleó la relación:  $T_{\text{obrador}} + T_{\text{harina}} + T_{\text{agua}} = 56 ^\circ\text{C}$ .

Posteriormente, se dividió la masa en piezas de 250 gramos, se bolearon y dejaron reposar en bola durante 15 minutos. Transcurrido ese tiempo se formaron las piezas y colocaron en moldes de aluminio de (215 x 95 x 50 mm) que fueron previamente engrasados con aceite de girasol y se llevaron a la cámara de fermentación donde fermentaron a 29 °C y 75 % de humedad durante 60 minutos. Tras la fermentación, se cocieron los panes a 185 °C durante 25 minutos con 10 segundos de vapor al inicio del horneado. Inmediatamente después se desmoldaron los panes y se dejaron enfriar sobre una rejilla durante una hora. Para la caracterización de los panes se procedió del mismo modo que en el pan de flama.

#### 2.2.4. Calidad de los panes

El volumen del pan fue determinado utilizando un analizador de volumen BVM-L 370 (TexVol Instruments, Viken, Sweden). La medida del volumen se realizó por duplicado, a dos panes de cada elaboración.

La textura de la miga fue medida con un texturómetro TA-XT2 texture analyzer (Stable Microsystems, Surrey, UK) provisto con el software "Texture Expert". Se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio de 20 mm de diámetro en un ensayo de doble compresión "Texture Profile Analysis" (TPA) para penetrar 50% de profundidad, a 2mm/s de velocidad con un retardo de 30 segundos entre la primera y segunda compresión. Se calcularon la firmeza, cohesividad, elasticidad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia a partir del gráfico TPA (Gomez et al., 2007). Las determinaciones texturales fueron realizadas en rebanadas de 20 mm de espesor a las 4, 24, 48, 120, 168 y 216 horas después de la elaboración. Se realizaron los análisis en la parte central de dos rebanadas de dos panes para cada tipo de elaboración.

Se midió el color de los panes tanto de la corteza como de la miga a través del espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón). Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar D65 y observador estándar 2°, y se expresaron en el espacio de color CIE L\*a\*b. Posteriormente, a partir de L\*, a\* y b\* se obtuvieron el tono (h) y la saturación o croma (C\*), usándose el espacio de color L\*C\*h para el análisis de los resultados. El color de la corteza fue medido en cuatro puntos diferentes de dos panes de cada muestra. El color de la miga se realizó en 2 rebanadas de cada pan por ambos lados, midiendo dos panes de cada elaboración.

El contenido en humedad, tanto de la miga como de la corteza de los panes, se midió según el método estándar AACC 2000 (44-19). Para ello se pesaron aproximadamente 2 gramos de miga en un caso y de corteza en el otro en la balanza de precisión Cobos-Serie XB (Barcelona, España), sobre una cápsula de acero inoxidable que posteriormente se introdujo en una estufa de ventilación forzada a (103 ± 1)°C durante

24 horas  $\pm$  2 horas. Una vez transcurrido este tiempo se volvió a pesar la cápsula para calcular el contenido en humedad. El análisis se realizó por duplicado.

#### 2.2.5. Pérdida de peso tras horneado

La pérdida de peso se obtuvo pesando los cinco panes de cada elaboración transcurrida una hora desde que se sacaron del horno y se restó este peso al peso de la masa antes del horneado. Para ello se utilizó una balanza Sartorius TEG 101.

#### 2.2.6. Vida útil

La vida útil de los panes se determinó mediante el seguimiento de la textura de los panes realizando un ensayo TPA, igual que el aplicado a los panes frescos, sobre panes almacenados en bolsas de polietileno hasta 9 días después de su elaboración en una cámara a  $(4 \pm 1)$  °C. El análisis se realizó por duplicado sobre dos rebanadas de un mismo pan.

#### 2.2.7. Propiedades del alveolado de la miga

Para determinar el alveolado se utilizaron técnicas de análisis de imagen para lo que se escanearon en blanco y negro cuatro rebanadas de dos panes de cada elaboración, en un escáner HP Scanjet G3110. Estas imágenes fueron tratadas con el programa "WCIF ImageJ" tomando una sección de miga de 15x17 mm en el caso del pan de flama y de 20x25 mm en el pan de molde. Los parámetros obtenidos por el equipo fueron porcentaje de vacío, brillo de la miga, espesor, tamaño de los poros, área media, diámetro medio equivalente y densidad alveolar.

#### 2.2.8. Evaluación sensorial de los panes

Para la realización del análisis sensorial de los panes de flama y de molde, se ha llevado a cabo una prueba de comparaciones múltiples con la ayuda de un panel semientrenado. Se pidió comparar 4 tipos de muestras correspondientes a panes con  $\beta$ -glucano de avena o cebada en diferentes concentraciones con un patrón (pan control con ausencia de  $\beta$ -glucano). Estos panes fueron previamente congelados a  $(-40 \pm 1)$  °C, hasta el momento de la cata en el que fueron atemperados para la misma. Los atributos sensoriales que determinaron los catadores fueron: intensidad de olor, intensidad de sabor, dureza, masticabilidad, regularidad del alveolo, aspecto visual externo y crujencia de la corteza (este último solo para pan de flama).

#### 2.2.9. Análisis estadístico

Con el fin de evaluar el efecto de los diferentes factores estudiados (tipo de pan, tipo de  $\beta$ -glucano y concentración del mismo), sobre la masa y los panes, se ha empleado

el programa estadístico STATISTICA Versión 11 (StatSoft Inc, Tulsa, USA) para realizar un ANOVA multifactorial anidado y el Test post-hoc de Fisher para describir las diferencias significativas entre las medias a un nivel de significancia de  $p < 0,05$ .

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Caracterización de las harinas mediante ensayos farinográficos

En general, las propiedades farinográficas de las masas enriquecidas con  $\beta$ -glucano presentaron diferencias con las masas control. La adición de  $\beta$ -glucano causó un aumento en la absorción de agua de todas las masas analizadas (Tabla 4). El mismo comportamiento fue observado cuando se añadieron fracciones de harina de diferentes fuentes enriquecida en  $\beta$ -glucano (Cavallero et al., 2002; Knuckles et al., 1997; Mohamed et al., 2005; Rieder et al., 2012) o aislados de  $\beta$ -glucanos (Mohamed et al., 2008; Skendi et al., 2009). Tales efectos se han atribuido a la alta capacidad de absorción de agua de estos polisacáridos no amiláceos y su capacidad para competir por el agua con otros constituyentes del sistema de la masa.

La adición de  $\beta$ -glucano a la fórmula también aumentó el tiempo de desarrollo cuando se añadieron altas concentraciones, no apreciándose para la dosis baja. Sin embargo, no ejerció un efecto claro sobre la estabilidad de las masas ya que mejoró la estabilidad en la harina de menor fuerza (h1) ejerciendo un efecto opuesto en la harina de mayor fuerza (h2) (Tabla 4). En contraste, Mohamed et al., (2005) mostraron que, con una mayor cantidad de  $\beta$ -glucano, no hubo gran reducción de la estabilidad de la masa.

**Tabla 4:** Resultados farinográficos de las muestras de harina con y sin adición de  $\beta$ -glucano

Tipo de pan	Tipo de $\beta$ -glucano	Dosis $\beta$ -glucano	Absorción de agua (%)	Tiempo desarrollo (min)	Estabilidad (min)	Decaimiento a 10 (min/FU)	Decaimiento a 12 (máximo/FU)
Flama (h1)	-	0	57,9	2,2	4,5	40	55
Flama (h1)	BBG	1	63,6	2	5,7	53	81
Flama (h1)	BBG	2	66,7	3,3	5,3	53	89
Flama (h1)	OBG	1	65,2	2,4	9,1	18	72
Flama (h1)	OBG	2	70,8	7,2	7	41	145
Molde (h2)	-	0	62,6	3	18,4	37	16
Molde (h2)	BBG	1	69,1	3,2	5,3	67	52
Molde (h2)	BBG	2	74,3	14,7	16,2	16	0
Molde (h2)	OBG	1	70,3	2,3	13,1	9	35
Molde (h2)	OBG	2	76,4	9,7	4,8	12	0

- h1: harina de menor fuerza (W=240); h2: harina de mayor fuerza (W=480). BBG:  $\beta$ -glucano de cebada; OBG:  $\beta$ -glucano de avena. Dosis 0: ausencia; Dosis 1: 0,9 % en base harina; Dosis 2: 1,8 % en base harina.

En general, las muestras con  $\beta$ -glucano de avena (en adelante OBG) produjeron un mayor aumento de la absorción de agua en el farinógrafo que aquellas con  $\beta$ -glucano de cebada (en adelante BBG) cuyo peso molecular era menor. En ambos casos el efecto era mayor con el incremento de la dosis de  $\beta$ -glucano. Estos mismos resultados fueron obtenidos por Rieder et al., (2012) y Skendi et al., (2010). El OBG también ejerció un mayor aumento en el tiempo de desarrollo y modificó la estabilidad de las masas en mayor medida que lo hizo el BBG.

Por otra parte, la adición de  $\beta$ -glucano a la harina de mayor fuerza (h2) aumentó tanto la absorción de agua como el tiempo de desarrollo de la masa de forma más intensa que en la harina de menor fuerza (h1). El efecto sobre la estabilidad de la masa fue opuesto en h2 y en h1, ya que la estabilidad disminuyó con respecto al control cuando se utilizó la harina h2 y aumentó con h1. Las propiedades farinográficas de las harinas de trigo dependen en gran medida del contenido de proteína y su calidad (Khatkar et al., 1996). Los resultados de las muestras control correspondientes a las harinas h1 (W=240) y h2 (W=480), confirman esta afirmación, ya que la fuerza de las harinas está relacionada con el nivel proteico de las mismas.

El BBG en general y el de mayor dosis en particular, presentó un buen perfil farinográfico sin muestras de debilitamiento, probablemente debido a una menor interferencia en el desarrollo y la calidad de la red de gluten. Sin embargo, en todos los casos con la adición de  $\beta$ -glucano se apreció una dilución del gluten ya que la banda del farinograma era más estrecha (datos no mostrados). Las discrepancias relacionadas con la influencia de los  $\beta$ -glucanos en las características de calidad de pan pueden surgir de las diferencias en el tamaño molecular, la solubilidad y el intervalo de concentración del polisacárido, así como los tipos de harina utilizados para la fortificación entre los diversos estudios (Skendi et al., 2010).

### **3.2. Propiedades fermentativas de las masas**

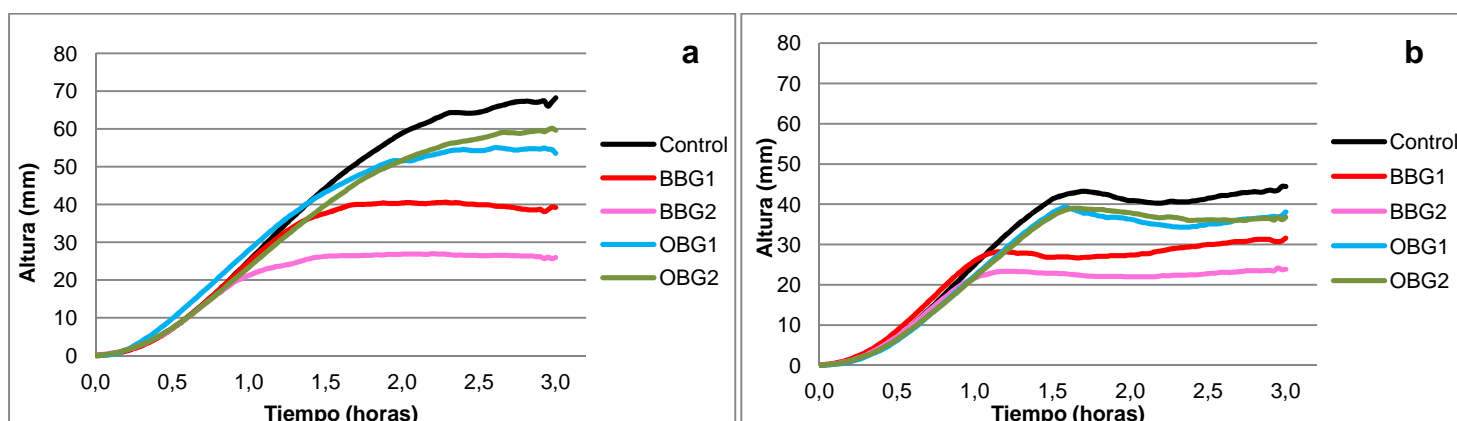
El desarrollo de los productos de panificación durante la fermentación y posterior cocción depende, por una parte, de la cantidad de CO<sub>2</sub> producido, y por otra, de las propiedades reológicas de las masas. Estas últimas determinan, tanto la capacidad de las mismas para retener el gas como el grado de extensión de la masa como consecuencia de la presión producida.

En la figura 1 se observan las curvas de desarrollo de las masas estudiadas de pan de flama y pan de molde, respectivamente. Se comprobó como las masas con  $\beta$ -glucano presentaron un menor desarrollo con respecto al control. Sin embargo, estas diferencias en el desarrollo de la masa no se produjeron hasta un punto de la

fermentación situado sobre los 90 minutos en flama, y los 60 minutos en molde. Previsiblemente por este menor desarrollo de las masas con  $\beta$ -glucano, el tiempo de desarrollo máximo de la masa también disminuyó, por lo tanto, la masa tardó menos tiempo en alcanzar su desarrollo máximo con la adición de  $\beta$ -glucano.

Aunque las masas con BBG presentaron un desarrollo muy rápido son las que alcanzaron una menor altura máxima, altura que disminuyó con el aumento de la dosis. Sin embargo fueron más estables frente a un exceso de fermentación, especialmente con la dosis mayor de BBG. Las muestras con OBG presentaron un desarrollo de la masa semejante al control, aunque siempre menor. Sin embargo, no se apreciaron diferencias claras en función de la dosis.

Entre los tipos de pan también se observaron diferencias, pues el efecto de los  $\beta$ -glucanos en el desarrollo de la masa de pan de flama fue mucho mayor que en el pan de molde. También se observó como la masa con la dosis menor de OBG sufrió un desarrollo más rápido durante la primera hora en pan de flama, mientras que en pan de molde fue la masa con la dosis menor de BBG la que presentó un desarrollo mayor en el mismo tiempo.



- BBG:  $\beta$ -glucano de cebada; OBG:  $\beta$ -glucano de avena. Dosis 1: 0,9 % en base harin; Dosis 2: 1,8 % en base harina.

**Figura 1: a:** Curva de desarrollo de las masas con y sin adición de  $\beta$ -glucano durante el proceso fermentativo de las muestras de pan de flama. **b:** Curva de desarrollo de las masas con y sin adición de  $\beta$ -glucano durante el proceso fermentativo de las muestras de pan de molde

En cuanto a los resultados de producción y retención de gas (datos no mostrados) cabe destacar las modificaciones producidas por la adición de  $\beta$ -glucano en el tiempo de aparición de porosidad ( $T_x$ ), en el volumen de  $CO_2$  perdido y el coeficiente de retención.

La adición de BBG disminuyó el tiempo de aparición de la porosidad, es decir, aceleró la porosidad de la masa, siendo este efecto mayor al aumentar la dosis. Sin embargo,



el OBG no ejerció un efecto claro, pues disminuyó levemente el parámetro Tx en pan de flama mientras que ejerció el efecto contrario en pan de molde. En todos los casos, el tiempo de aparición de la porosidad disminuyó entre la dosis mayor y menor del  $\beta$ -glucano correspondiente, a excepción de BBG en pan de molde donde se mantuvo constante, es decir, no se apreciaron diferencias en Tx entre la dosis mayor y menor. El volumen de CO<sub>2</sub> perdido aumentó con la presencia de BBG y disminuyó con el OBG en ambos tipos de pan. El menor volumen retenido fue para la dosis alta de BBG. El coeficiente de retención también se vio afectado por los diferentes  $\beta$ -glucanos, ya que disminuyó con la adición de BBG y se mantuvo estable con OBG en ambos tipos de pan. Se puede concluir que las masas enriquecidas con BBG (especialmente en altas dosis) pueden resultar en la reducción de la capacidad de retención de gas y posible deterioro de la red de gluten durante la fermentación. Otros autores Skendi et al., (2010) obtuvieron conclusiones similares a partir de ensayos con extensógrafo.

### **3.3. Volumen específico de los panes**

En todos los casos se apreció como el volumen específico disminuyó significativamente con la adición de  $\beta$ -glucano, ya fuera de avena o de cebada, incrementándose este efecto con el aumento de la dosis, a excepción de la dosis 1 y 2 de BBG en el pan de molde entre las cuales no se apreció diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) (Tabla 5). Estos resultados concuerdan con los de Brennan et al., (2007), quienes apreciaron una reducción del volumen específico cuando emplearon la misma fuente de BBG (Glucagel) en dosis superiores, en concreto 2,5 y 5 %.

Los panes a los que se les añadió OBG tuvieron menor volumen que los elaborados con BBG. Estos resultados parecen contradictorios a los obtenidos con el reofermentómetro donde fue el OBG el que presentó una curva de desarrollo de la masa más acusada que la obtenida con el BBG. Estas discrepancias podrían explicarse en base a un colapso de las masas en el horneado, que puede atribuirse a una menor disponibilidad del agua para el desarrollo de la red de gluten y/o a una reducción en la producción de vapor de agua como resultado de la unión de agua por los  $\beta$ -glucanos (Brennan y Cleary, 2007; Gill et al., 2002) la cual fue mayor en OBG según los resultados de los farinógrafos. En relación con estos resultados, Tiwari et al., (2009) afirmaron que la incorporación de avena en proporciones altas puede llevar a una reducción del volumen en el horneado.

**Tabla 5.** Efecto de la adición de  $\beta$ -glucano sobre el volumen específico y la pérdida de peso tras el horneado

Tipo de pan	Tipo de $\beta$ -glucano	Dosis $\beta$ -glucano	Volumen específico (ml/g)	Pérdida de peso tras horneado (g)
Flama	-	0	6,06 <sup>f</sup>	37,67 <sup>cd</sup>
Flama	BBG	1	4,84 <sup>cd</sup>	36,2 <sup>c</sup>
Flama	BBG	2	3,81 <sup>b</sup>	34,33 <sup>ab</sup>
Flama	OBG	1	4,31 <sup>c</sup>	33,71 <sup>a</sup>
Flama	OBG	2	3,15 <sup>a</sup>	36,05 <sup>bc</sup>
Molde	-	0	6,5 <sup>g</sup>	39,12 <sup>d</sup>
Molde	BBG	1	5,68 <sup>e</sup>	37,3 <sup>c</sup>
Molde	BBG	2	5,39 <sup>e</sup>	37,2 <sup>c</sup>
Molde	OBG	1	6,11 <sup>f</sup>	41,84 <sup>e</sup>
Molde	OBG	2	4,67 <sup>c</sup>	37,02 <sup>c</sup>
<b>Error estándar</b>			0,1203	0,6564

- Tipo de  $\beta$ -glucano: BBG: cebada; OBG: avena. Concentración: 0 (ausencia), 1 (0,9 %) y 2 (1,8 %).
- Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Tanto en pan de flama como en pan de molde la presencia de  $\beta$ -glucano tuvo un efecto significativo sobre el volumen específico ( $p < 0,05$ ), sin embargo, el efecto fue mayor en los panes de flama que en los de molde, es decir, la reducción de volumen fue más acusada en el pan de flama, como se puede observar en las imágenes de los panes recogidas en el anexo I. Esto puede ser debido a que antes de hornear en el pan de flama se realizaron cortes longitudinales en la superficie de la barra que provocaron la salida del gas de la masa y que pudieron debilitar más si cabe la red de gluten.

El uso de harinas de avena o cebada supone un procedimiento alternativo a la adición de  $\beta$ -glucano purificado y son muchos los estudios en los que la incorporación de estas fracciones ricas en  $\beta$ -glucano o purificados de  $\beta$ -glucano a panes elaborados con harina de trigo, provocan, como en nuestro caso, una disminución en el volumen final del pan (Brennan y Cleary, 2007; Cavallero et al., 2002; Gill et al., 2002; Lzydorczyk y Dexter, 2008; Knuckles et al., 1997; Litwinek et al., 2013; Trogh et al., 2004), viéndose incrementada esta disminución del volumen con dosis mayores. Sin embargo, Ahmad et al., (2008) demostraron, por su parte, que los  $\beta$ -glucanos de cebada pueden mejorar la estructura de la miga de los panes de trigo y no afectan en gran medida al volumen de pan.

Como ya se ha comentado, según varios estudios, cuando se añaden fracciones ricas en  $\beta$ -glucano a la harina de trigo durante la elaboración de pan, la capacidad de absorción de agua se ve aumentada (Gill et al., 2002; Holtekjølén et al., 2008) lo que hace que el agua esté menos disponible para el desarrollo de la red de gluten lo que

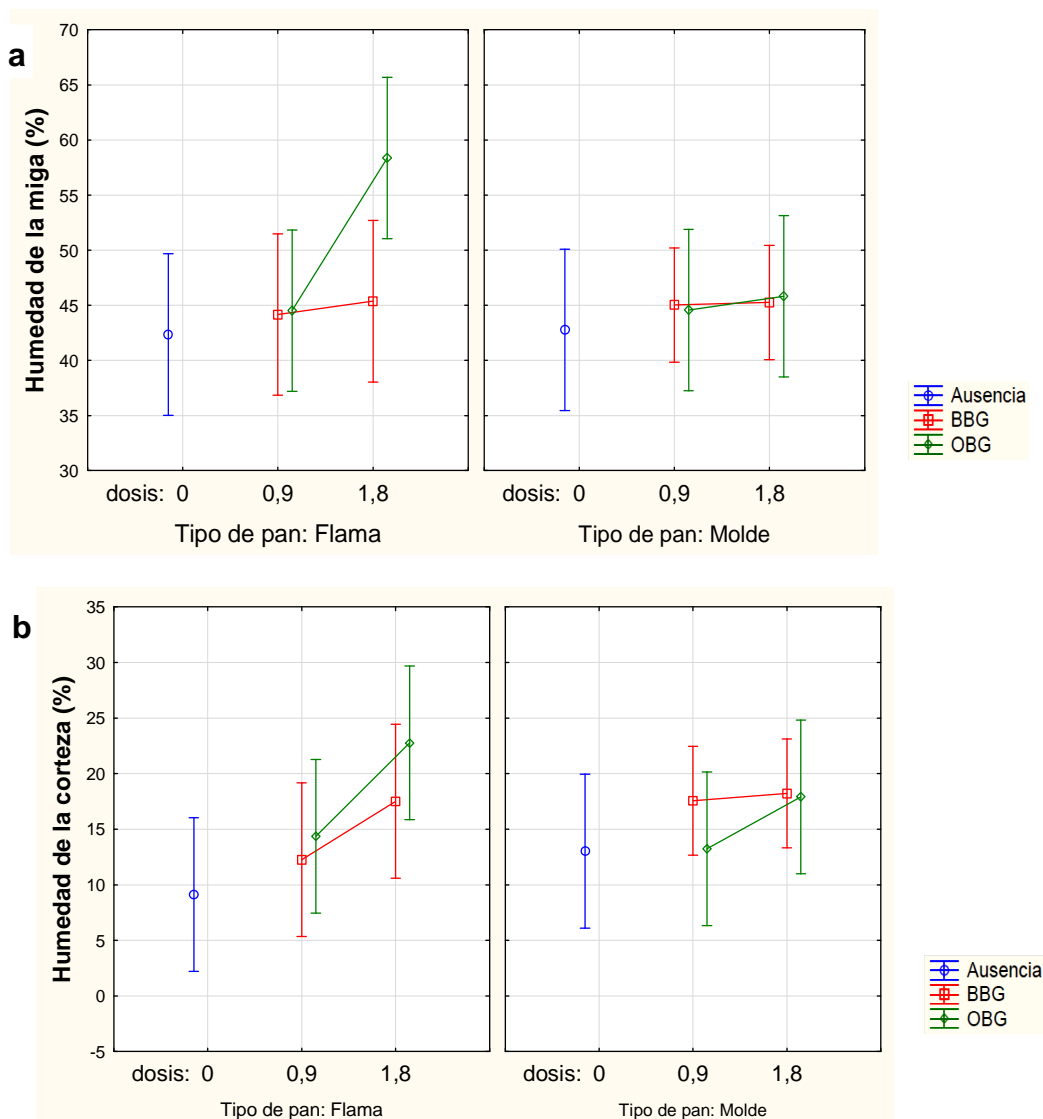
puede dar lugar a una reducción del volumen y aumento de firmeza. Según Oomah y Lefkovitch., (1988), los volúmenes de panes de trigo con harina de avena pueden ser optimizados incrementando la cantidad de agua. En esta línea, la adición de agua puede paliar parcialmente el efecto de la reducción de volumen provocada por el  $\beta$ -glucano, motivo por el cual en este estudio se decidió trabajar a humedad adaptada. Por el contrario, Rieder et al., (2012) obtuvieron los mayores volúmenes de pan con harinas de alto contenido en  $\beta$ -glucano y en los panes que contenían mayor cantidad de  $\beta$ -glucano de alto peso molecular. En su estudio sustituyeron 40 % de harina de trigo por harina de avena en un caso y de cebada en otro y también elaboraron los panes optimizando la adición de agua. Se puede decir que aumentar el nivel de  $\beta$ -glucano sin un aumento del contenido de gluten resulta en una reducción del volumen del pan. Así Gormley y Morrissey., (1993) obtuvieron los mayores volúmenes de pan mediante la adición de gluten y agua extra para panes que contenían 5-20 g de copos de avena por cada 100 g de harina de trigo.

#### **3.4. Pérdida de peso tras horneado**

En la Tabla 5 se representan las medias de la pérdida de peso durante el horneado, que da una idea de la capacidad de retención de agua de los ingredientes que constituyen las masas. Esta variable se vio modificada significativamente con los factores de estudio “tipo de pan” y “tipo de  $\beta$ -glucano” ( $p < 0,05$ ) pero no con la “dosis de  $\beta$ -glucano”. La presencia del hidrocólide disminuyó la pérdida de peso en todos los panes, excepto en pan de molde con la dosis menor de OBG que tuvo una mayor pérdida de peso con respecto al control. La adición de BBG en la dosis menor aunque redujo la pérdida de peso con respecto al control no lo hizo de forma significativa como el resto de casos. Además se apreció que el OBG tuvo un mayor efecto en la variación de la pérdida de peso. Hager et al., (2011), también observaron que la adición de OBG en panes de trigo disminuía el porcentaje de pérdida de peso de los panes, aunque en su caso no disminuyó de forma significativa. Por último, se observó que la adición de  $\beta$ -glucano tuvo un efecto diferente en pan de flama que en pan de molde. Mientras que en pan de flama la disminución de la pérdida de peso fue mayor al aumentar la dosis de BBG, en pan de molde no se apreciaron diferencias entre las dosis 1 y 2 de BBG. En cuanto a la presencia de OBG, produjo un efecto opuesto en pan de molde que en pan de flama como se puede apreciar en la tabla 5. Esto puede ser debido a interacciones con el resto de ingredientes, ya que las fórmulas eran diferentes.

### 3.5. Humedad de la miga y de la corteza

Se observó un aumento de la humedad tanto de la miga como de la corteza con la presencia de  $\beta$ -glucano, sin embargo, el efecto no fue significativo ( $p > 0,05$ ). Este aumento en la humedad seguramente fue debido tanto al aumento de agua en la formulación asociado al de hidrocoloide y al tipo de harina como a la capacidad de retención de agua del  $\beta$ -glucano. Hager et al., (2011), también observaron que la adición de OBG, aumentó la humedad de la miga y observaron que la humedad final de la miga mostraba una correlación lineal con el nivel de agua incorporado a la fórmula.



- Dosis: % de  $\beta$ -glucano. Tipo de  $\beta$ -glucano: BBG:  $\beta$ -glucano de cebada, OBG:  $\beta$ -glucano de avena.

**Figura 2:** **a.** Evolución de la humedad de la miga con la adición de  $\beta$ -glucano. **b.** Evolución de la humedad de la miga con la adición de  $\beta$ -glucano de cebada (BBG) y  $\beta$ -glucano de avena (OBG)

Se apreció una correlación entre la humedad de la miga y de la corteza pues la evolución con la adición de BBG y OBG tenían una tendencia similar en ambas humedades (figuras 2a y 2b). El OBG tuvo un mayor efecto sobre el incremento de la humedad de la miga y de la corteza, excepto en el pan de molde donde el mayor valor de humedad de la corteza fue para la dosis mayor de BBG, presentando una diferencia significativa con el molde control. Resultados similares fueron obtenidos por Skendi et al., (2010), quienes investigaron el efecto de la fortificación de harina de trigo de diferente calidad panadera con dos  $\beta$ -glucanos de cebada de distinto peso molecular (Mw). De este modo, apreciaron un continuo incremento en el contenido en humedad del pan con niveles crecientes de  $\beta$ -glucano, además de un efecto mucho mayor en el contenido de humedad de los panes con el  $\beta$ -glucano de mayor peso molecular, en nuestro caso el OBG, que con el de menor peso molecular (BBG).

También se apreciaron diferencias entre los tipos de pan, ya que la adición de  $\beta$ -glucano provocó un mayor aumento de la humedad de miga y corteza en el pan de flama a pesar de que la cantidad de agua asociada al  $\beta$ -glucano y la harina era mayor en el pan de molde. Esto puede ser debido a interacciones con otros ingredientes de la formulación.

### **3.6. Textura**

La tabla 6 muestra el efecto de la adición de  $\beta$ -glucano sobre los parámetros texturales de la miga del pan de flama y del pan de molde. En términos generales se puede decir que la presencia de  $\beta$ -glucanos en el pan de molde no ejerció un efecto significativo en los parámetros texturales a excepción de la resiliencia, que se vio aumentada significativamente ( $p < 0,05$ ). Por el contrario, la adición de  $\beta$ -glucanos en el pan de flama ejerció un efecto significativo en estos parámetros, aumentando la dureza, elasticidad, gomosidad, masticabilidad y disminuyendo la cohesividad.

#### **3.6.1. Dureza**

La presencia de  $\beta$ -glucanos ejerció un incremento significativo en la dureza del pan de flama. Sin embargo, este efecto no se apreció en el pan de molde. Entre los  $\beta$ -glucanos fue el OBG el que provocó un mayor aumento de la dureza. Añadido a esto, la dureza se vio aumentada con el incremento de la dosis. Se sabe que la firmeza de los panes está correlacionada con el volumen de los panes (Gomez et al., 2007) por lo que la explicación de las diferencias de firmeza podría encontrarse en las diferencias de volumen específico. Rieder et al., 2012 sustituyeron harina de trigo por harina de

cebada y de avena resultando en una significativa reducción del volumen del pan acompañada de un incremento de la dureza del pan.

Otros autores observaron también un aumento de la dureza en panes que contenían niveles altos de  $\beta$ -glucanos (sustituyendo hasta un 60 % de harina de trigo por harina de cebada), atribuyéndolo a las diferentes características viscoelásticas que poseen los  $\beta$ -glucanos presente en estos panes (Vaikousi et al., 2004), lo que sugiere que el aumento del peso molecular asociado al contenido de  $\beta$ -glucanos aumenta la tensión mecánica necesaria para afectar a la estructura del pan (Sullivan et al., 2011).

**Tabla 6:** Parámetros texturales a día 0 en pan de flama y pan de molde con y sin adición de  $\beta$ -glucano (Ensayo TPA)

Tipo de pan	Tipo de $\beta$ -glucano	Dosis $\beta$ -glucano	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad (N)	Resiliencia
Flama	-	0	1,3065 <sup>ab</sup>	0,9208 <sup>a</sup>	0,6925 <sup>cd</sup>	0,9045 <sup>bc</sup>	0,8338 <sup>a</sup>	0,4163 <sup>d</sup>
Flama	BBG	1	1,6610 <sup>bc</sup>	0,9425 <sup>abc</sup>	0,6813 <sup>bc</sup>	1,1310 <sup>cd</sup>	1,0688 <sup>b</sup>	0,4250 <sup>d</sup>
Flama	BBG	2	3,1120 <sup>e</sup>	0,9393 <sup>abc</sup>	0,6685 <sup>a</sup>	2,0785 <sup>f</sup>	1,9528 <sup>d</sup>	0,4125 <sup>d</sup>
Flama	OBG	1	2,3873 <sup>d</sup>	0,9610 <sup>c</sup>	0,6845 <sup>c</sup>	1,6335 <sup>e</sup>	1,5700 <sup>c</sup>	0,4585 <sup>f</sup>
Flama	OBG	2	4,8750 <sup>f</sup>	0,9458 <sup>bc</sup>	0,6630 <sup>a</sup>	3,2300 <sup>g</sup>	3,0555 <sup>e</sup>	0,4325 <sup>de</sup>
Molde	-	0	1,0493 <sup>a</sup>	0,9375 <sup>abc</sup>	0,6633 <sup>a</sup>	0,6955 <sup>ab</sup>	0,6510 <sup>a</sup>	0,3448 <sup>a</sup>
Molde	BBG	1	1,1225 <sup>a</sup>	0,9198 <sup>a</sup>	0,6715 <sup>ab</sup>	0,7553 <sup>ab</sup>	0,6935 <sup>a</sup>	0,3635 <sup>b</sup>
Molde	BBG	2	0,9695 <sup>a</sup>	0,9358 <sup>ab</sup>	0,6820 <sup>bc</sup>	0,6613 <sup>a</sup>	0,6190 <sup>a</sup>	0,3958 <sup>c</sup>
Molde	OBG	1	0,9443 <sup>a</sup>	0,9538 <sup>bc</sup>	0,6998 <sup>d</sup>	0,6805 <sup>ab</sup>	0,6313 <sup>a</sup>	0,4155 <sup>d</sup>
Molde	OBG	2	1,8263 <sup>c</sup>	0,9560 <sup>bc</sup>	0,6700 <sup>ab</sup>	1,2233 <sup>d</sup>	1,1700 <sup>b</sup>	0,4113 <sup>cd</sup>
<b>Error estándar</b>			0,1292	0,0086	0,0043	0,0824	0,0810	0,0057

- Tipo de  $\beta$ -glucano: BBG: cebada; OBG: avena. Concentración: 0 (ausencia), 1 (0,9 %) y 2 (1,8 %).

- Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

### 3.6.2. Cohesividad

La adición de  $\beta$ -glucano en pan de flama disminuyó la cohesividad de la miga, aunque solo de forma significativa con las dosis altas de ambos tipos de  $\beta$ -glucano. Por el contrario, en el pan de molde, los  $\beta$ -glucanos provocaron un aumento en la cohesividad pero solamente de forma significativa con la dosis alta de BBG y la dosis baja de OBG. No se apreciaron diferencias significativas entre los dos tipos de  $\beta$ -glucano.

### 3.6.3. Resiliencia y elasticidad

La presencia de  $\beta$ -glucano provocó un aumento de la resiliencia en todos los casos excepto en la dosis alta de BBG en pan de flama, lo que implica que los  $\beta$ -glucanos aumentaron la capacidad de recuperación instantánea del pan. En general, se obtuvieron mayores valores de resiliencia con la dosis menor de ambos  $\beta$ -glucanos y

fue la dosis menor de OBG con la que se obtuvo el mayor valor de resiliencia. Los  $\beta$ -glucanos ejercieron un mayor efecto en el aumento de la resiliencia del pan de molde que en el pan de flama.

La elasticidad también se vio aumentada con la adición de  $\beta$ -glucano excepto con la adición de BBG en pan de molde. El OBG tuvo un mayor efecto en el aumento de la elasticidad en ambos tipos de pan.

### **3.7. Análisis de la vida útil del pan**

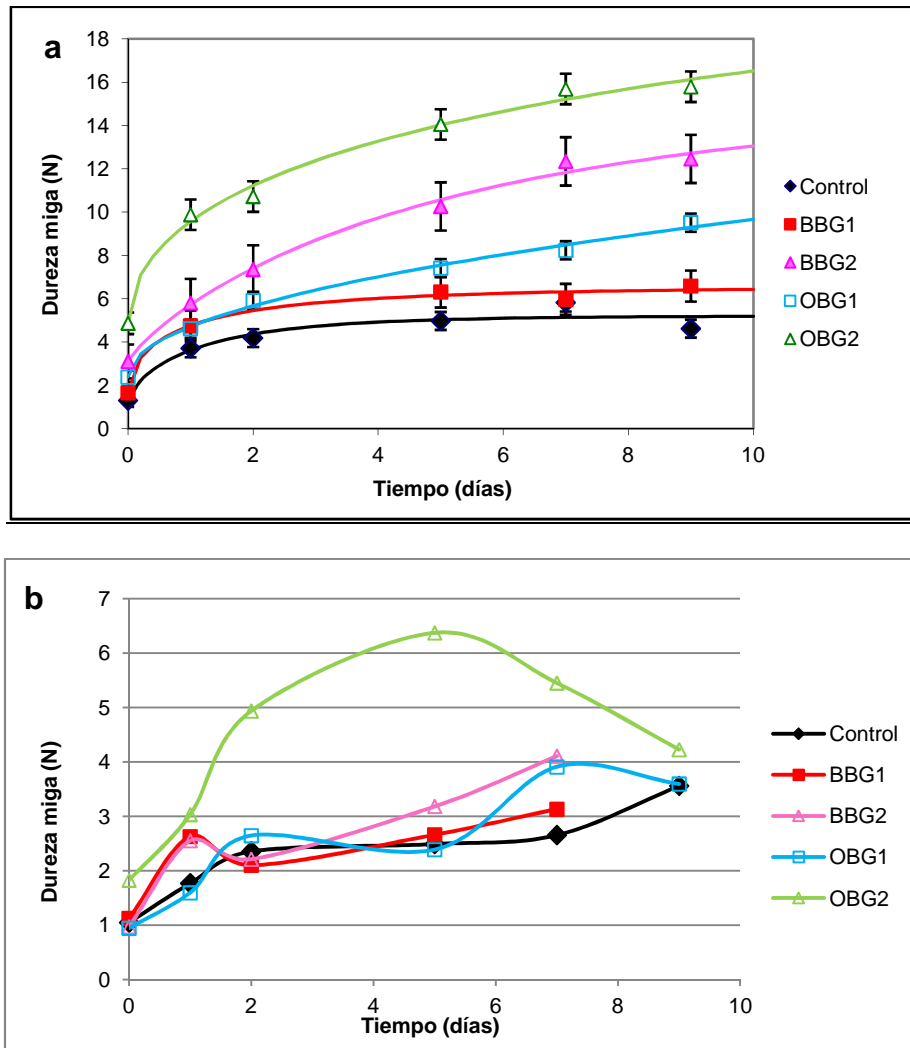
La dureza del pan se encuentra correlacionada con la percepción de frescura del pan y es uno de los parámetros que evidencia el envejecimiento del pan. Por ello ha sido el parámetro seleccionado para la determinación de la vida útil.

Como se observa en la figura 3a, en el pan de flama la evolución de la dureza con el tiempo siguió una tendencia exponencial, es decir, la dureza experimentó un rápido aumento durante los 2 primeros días de almacenamiento y un incremento cada vez más lento a partir de ese momento, con una tendencia asintótica hacia un valor constante a tiempos elevados. En el caso del pan de flama control (y el enriquecido con la dosis baja de BBG) este valor prácticamente constante se obtuvo a partir del quinto día. Sin embargo, la presencia de dosis más elevadas de  $\beta$ -glucano, además de aumentar la dureza provocó que a los 9 días (tiempo máximo de almacenamiento) aun no se hubiese alcanzado ese valor estable. Todo parece indicar que tiempos más prolongados de almacenamiento habrían seguido aumentando su dureza. Esto puede estar relacionado con la capacidad de retención de agua del  $\beta$ -glucano.

Por otro lado, los datos experimentales correspondientes a la textura del pan de molde presentaron una elevada variabilidad que impidió su ajuste exponencial. Como se puede observar en la figura 3b, el efecto del  $\beta$ -glucano en la cinética de endurecimiento no es significativo, excepto para la dosis 2 de OBG. La mayor hidratación de las masas de pan de molde, así como las interacciones con el resto de ingredientes utilizados en su formulación, determinó que el endurecimiento de estos panes fuera imperceptible en el periodo de tiempo estudiado y sujeto a una importante variabilidad.

Resultados similares fueron obtenidos por Kim et al., (2011) quienes realizaron un estudio en el que elaboraron pan con trigo entero, 100 % cebada y 100 % avena y analizaron su dureza en fresco y a los días 1, 2 y 3 observando cómo los panes ricos en  $\beta$ -glucano sufrían un mayor envejecimiento que el control. Como en nuestro caso, obtuvieron la máxima dureza en pan de avena. Sullivan et al., (2011) elaboraron panes que contenían cebada y también sufrieron un mayor envejecimiento demostrando ser

más susceptibles a la retrogradación del almidón que los panes control (100 % harina de trigo), ya que el alto contenido en  $\beta$ -glucano asociado a la cebada produjo una retrogradación mayor que el control de las pastas de almidón analizadas mediante ensayo RVA (Rapid Visco Analyzer). Esto puede explicar el aumento de la dureza de los panes que contiene  $\beta$ -glucano, particularmente durante un período de almacenamiento más largo, donde será más probable que retrograde el almidón en los panes.



- Tipo de  $\beta$ -glucano: BBG:  $\beta$ -glucano de cebada; OBG:  $\beta$ -glucano de avena.
- Dosis 1: 0,9 % en base harina; Dosis 2: 1,8 % en base harina.

**Figura 3. a:** Evolución de la dureza de los panes de flama a lo largo de tiempo. **b:** Evolución de la dureza de los panes de molde a lo largo de tiempo.



### 3.8. Color de la corteza y de la miga

La tabla 7 muestra el efecto de la adición de  $\beta$ -glucano sobre los parámetros que definen el color de la corteza y de la miga del pan de flama y del pan de molde. Se han encontrado diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en estos parámetros con la incorporación del  $\beta$ -glucano.

**Tabla 7:** Parámetros que definen el color de los panes de flama y molde con y sin adición de  $\beta$ -glucano

Tipo de pan	Tipo de $\beta$ -glucano	Dosis $\beta$ -glucano	Corteza			Miga		
			L*	C*	h	L*	C*	h
Flama	-	0	60,980 <sup>ef</sup>	33,115 <sup>cd</sup>	66,786 <sup>de</sup>	65,033 <sup>a</sup>	12,485 <sup>b</sup>	86,858 <sup>abc</sup>
Flama	BBG	1	63,474 <sup>f</sup>	35,616 <sup>ef</sup>	69,720 <sup>e</sup>	66,178 <sup>a</sup>	12,212 <sup>b</sup>	87,084 <sup>bc</sup>
Flama	BBG	2	60,716 <sup>ef</sup>	37,129 <sup>f</sup>	66,227 <sup>d</sup>	69,141 <sup>b</sup>	14,913 <sup>cd</sup>	85,788 <sup>a</sup>
Flama	OBG	1	58,555 <sup>e</sup>	36,633 <sup>f</sup>	64,739 <sup>d</sup>	71,106 <sup>bc</sup>	14,201 <sup>c</sup>	86,832 <sup>abc</sup>
Flama	OBG	2	55,030 <sup>d</sup>	33,893 <sup>de</sup>	66,228 <sup>d</sup>	69,913 <sup>b</sup>	15,737 <sup>d</sup>	86,268 <sup>ab</sup>
Molde	-	0	53,963 <sup>cd</sup>	30,161 <sup>b</sup>	56,862 <sup>bc</sup>	74,313 <sup>de</sup>	10,611 <sup>a</sup>	87,731 <sup>cd</sup>
Molde	BBG	1	53,336 <sup>cd</sup>	31,000 <sup>bc</sup>	58,640 <sup>c</sup>	72,433 <sup>cd</sup>	10,652 <sup>a</sup>	88,231 <sup>d</sup>
Molde	BBG	2	49,951 <sup>ab</sup>	28,872 <sup>b</sup>	55,218 <sup>b</sup>	70,599 <sup>bc</sup>	10,100 <sup>a</sup>	86,927 <sup>bc</sup>
Molde	OBG	1	51,399 <sup>bc</sup>	28,845 <sup>b</sup>	55,319 <sup>b</sup>	74,906 <sup>e</sup>	10,843 <sup>a</sup>	88,238 <sup>d</sup>
Molde	OBG	2	46,796 <sup>a</sup>	25,786 <sup>a</sup>	51,364 <sup>a</sup>	74,978 <sup>e</sup>	12,039 <sup>b</sup>	87,677 <sup>cd</sup>
<b>Error estandar</b>			1,1741	0,8034	1,174	0,803	1,066	0,860

- Tipo de  $\beta$ -glucano: BBG: cebada; OBG: avena. Concentración: 0 (ausencia), 1 (0,9 %) y 2 (1,8 %).

- L\*: Luminosidad; C\*: Saturación; h: Tono.

- Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

#### 3.8.1. Luminosidad de la corteza y de la miga

Se apreció una disminución de la luminosidad de la corteza con la adición de  $\beta$ -glucano mayor a medida que se aumentó la dosis, es decir, el  $\beta$ -glucano produjo un oscurecimiento de la corteza. Aparentemente la dosis menor de BBG no afectó a la luminosidad de la corteza y el OBG produjo un mayor efecto en todos los casos. Se observaron efectos similares en pan de flama y en pan de molde. Resultados semejantes fueron obtenidos por Mohamed et al., (2005), Skendi et al., (2010), donde la luminosidad disminuyó significativamente con el aumento de la dosis de  $\beta$ -glucano y el  $\beta$ -glucano de mayor peso molecular (OBG en nuestro caso) ejerció un mayor efecto. En cuanto a la luminosidad de la miga, se apreció un efecto opuesto en pan de flama y en pan de molde. En la modalidad flama se vio aumentada de forma significativa en todos los casos excepto con la dosis menor de BBG, siendo el OBG el que ejerció un mayor efecto. Por el contrario, en pan de molde la luminosidad de la miga disminuyó con el aumento de la dosis de BBG y se mantuvo con la adición de OBG. Esto no

coincide con lo observado por Kim et al., (2011) que apreciaron un aumento de la luminosidad de corteza y de miga en panes elaborados con 100 % harina de avena y 100 % harina de cebada, obteniendo los mayores valores de luminosidad de corteza en los panes de avena y luminosidad de miga en los panes de cebada.

### 3.8.2. Saturación o croma de la corteza y de la miga

El croma de la corteza y de la miga aumentó en el pan de flama con la adición de  $\beta$ -glucano, ejerciendo un mayor aumento el BBG sobre el croma de la corteza y el OBG sobre el croma de la miga. La presencia de  $\beta$ -glucano produjo un efecto contrario sobre el pan de molde disminuyendo el croma de la corteza (en particular con OBG), mientras que el croma de la miga se mantuvo o aumentó ligeramente (especialmente con OBG). De este modo, se puede decir que la presencia de  $\beta$ -glucano aumentó la viveza del color de la corteza y la miga en pan de flama y la disminuyó en la corteza de pan de molde.

### 3.8.3. Tono de la corteza y de la miga

Según el diagrama cromático establecido por las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ , el tono de la corteza de estos panes estaría comprendida entre tonos amarillentos (valores de  $h$  cercanos a 90) y tonos rojizos (valores de  $h$  cercanos a 0) mientras que el tono de la miga sería prácticamente amarillo.

La adición de  $\beta$ -glucano disminuyó el tono de la corteza en ambos tipos de pan aunque no de forma significativa, excepto con la adición de la dosis menor de BBG que se vio aumentado. Esto se traduce en una tonalidad más rojiza en aquellos panes a los que se les ha añadido  $\beta$ -glucano como se puede apreciar en las figuras 5 y 6 del anexo I. Resultados análogos fueron obtenidos por Mohamed et al., (2005) quienes incorporaron Nutrim (un hidrocoloide obtenido a partir de salvado de avena) a panes elaborados con harina de trigo, apreciando una disminución no significativa ( $p > 0,05$ ) en el tono de la corteza y un aumento de la luminosidad a medida que aumentaba la inclusión de  $\beta$ -glucano. Dentro de los  $\beta$ -glucanos, fueron los panes con OBG los que obtuvieron valores de tono menores, es decir, tonos más rojizos. En cuanto al tono de la miga, no varió significativamente ( $p > 0,05$ ) con la adición de  $\beta$ -glucano con respecto al control en ninguno de los tipos de pan. Resultados similares fueron obtenidos por Mohamed et al., (2008) al incluir C-TRIM (un producto obtenido a partir de  $\beta$ -glucanos de avena y cebada) donde los valores de  $a^*$  y  $b^*$  no se vieron modificados y la luminosidad de la miga se vio aumentada significativamente.

### 3.9. Propiedades del alveolado de la miga

La tabla 8 recoge los resultados obtenidos en el análisis de imagen de las muestras de pan. La adición de  $\beta$ -glucano ejerció un efecto contrario en pan de flama y en pan de molde respecto a la variación del porcentaje de vacío. Como se puede observar en la tabla 8, en pan flama la presencia de  $\beta$ -glucano descendió el porcentaje de vacío a medida que aumentó la dosis, siendo el OBG el que ejerció un efecto significativo ( $p < 0,05$ ). De este modo, el pan de flama control es el que presentó un mayor porcentaje de huecos (alvéolos), lo que supone una mayor retención de gas. El brillo de la miga también varió de forma opuesta en pan de molde y en pan de flama, disminuyendo significativamente con el incremento de la dosis de  $\beta$ -glucano en pan de flama, siendo el BBG el que ejerció un efecto mayor. En pan de molde el brillo de la miga aumentó aunque no significativamente, excepto con la dosis menor de OBG. En cuanto al espesor de la pared del alvéolo, aumentó significativamente a medida que aumentó la inclusión de  $\beta$ -glucano, siendo el OBG el que provocó un mayor efecto en este incremento. Se apreció que los  $\beta$ -glucanos provocaron un efecto más acusado sobre la variación en el espesor del alvéolo en el pan de flama. También se observó un aumento en el área media con la presencia de  $\beta$ -glucano, excepto con la incorporación de OBG en el pan de flama. De este modo, fue el BBG el que influyó más en el incremento de esta variable. Se apreció que, en todos los casos, fueron las dosis menores de  $\beta$ -glucano las que presentaron un mayor valor que los controles y las dosis mayores. Además, los  $\beta$ -glucanos ejercieron un mayor efecto en el pan de molde que en el pan de flama. Respecto a la cantidad de alveolos de diferentes tamaños que da una idea de la uniformidad del alveolado (datos no mostrados) se observa como en todos los panes predominan los alvéolos pequeños, mayoritariamente menores de 1 mm. En el pan de flama en ningún caso se detectaron alveolos mayores a 7 mm siendo panes con una elevada uniformidad en el alveolado, mientras que en pan de molde los alvéolos de mayor tamaño aparecieron con la menor dosis de ambos  $\beta$ -glucanos reduciendo sus valores de uniformidad a 4,08 con BBG y 4,78 con OBG. Resultados similares fueron obtenidos por Skendi et al., (2010), quienes incorporaron dos  $\beta$ -glucano de cebada de diferente peso molecular a panes de trigo de diferente fuerza, observando un aumento en el área media (mayor en el  $\beta$ -glucano de mayor peso molecular) y en el número de alveolos de mayor tamaño ( $> 4$  mm). Aunque la incorporación de  $\beta$ -glucano parece incrementar la capacidad de retención de gas en la red de gluten, la integridad de las celdas de gas no se pueden mantener con el transcurso del proceso de panificación y consecuentemente, las

pequeñas celdas coalescen formando celdas de gas mayores. Finalmente, la densidad alveolar se vio reducida con la presencia de  $\beta$ -glucanos en ambos tipos de pan, aunque solo de forma significativa en pan de flama. Fue el OBG el  $\beta$ -glucano que provocó un mayor efecto en la reducción de la densidad alveolar. Además se apreció que los  $\beta$ -glucanos tuvieron un mayor efecto sobre esta variable en el pan de flama que en el pan de molde.

**Tabla 8:** Resultado del análisis de imagen de los panes de flama y de molde con y sin adición de  $\beta$ -glucano

Tipo de pan	Tipo $\beta$ -glucano	Dosis $\beta$ -glucano	% de vacío	Brillo de la miga	Espesor (mm)	Área media (mm <sup>2</sup> )	D-equiv medio	Densidad alveolar (n°Alv/ cm <sup>2</sup> )
Flama	0	0	11,404 <sup>cd</sup>	199,205 <sup>de</sup>	0,766 <sup>a</sup>	0,192 <sup>a</sup>	0,216 <sup>ab</sup>	55,392 <sup>e</sup>
Flama	BBG	1	11,072 <sup>bcd</sup>	180,588 <sup>a</sup>	0,810 <sup>d</sup>	0,211 <sup>ab</sup>	0,231 <sup>abc</sup>	49,118 <sup>ab</sup>
Flama	BBG	2	10,991 <sup>bc</sup>	183,781 <sup>ab</sup>	0,820 <sup>de</sup>	0,208 <sup>ab</sup>	0,222 <sup>abc</sup>	50,686 <sup>abcd</sup>
Flama	OBG	1	9,498 <sup>ab</sup>	191,164 <sup>c</sup>	0,844 <sup>ef</sup>	0,188 <sup>a</sup>	0,217 <sup>ab</sup>	47,843 <sup>ab</sup>
Flama	OBG	2	9,101 <sup>a</sup>	187,949 <sup>bc</sup>	0,845 <sup>f</sup>	0,179 <sup>a</sup>	0,216 <sup>a</sup>	46,569 <sup>a</sup>
Molde	0	0	12,661 <sup>de</sup>	196,319 <sup>d</sup>	0,782 <sup>ab</sup>	0,215 <sup>ab</sup>	0,229 <sup>abc</sup>	54,600 <sup>de</sup>
Molde	BBG	1	14,132 <sup>e</sup>	198,442 <sup>de</sup>	0,805 <sup>bcd</sup>	0,266 <sup>c</sup>	0,237 <sup>c</sup>	50,800 <sup>abcd</sup>
Molde	BBG	2	13,330 <sup>e</sup>	198,531 <sup>de</sup>	0,808 <sup>cd</sup>	0,246 <sup>bc</sup>	0,235 <sup>c</sup>	51,200 <sup>bcd</sup>
Molde	OBG	1	13,667 <sup>e</sup>	200,957 <sup>e</sup>	0,786 <sup>abd</sup>	0,250 <sup>bc</sup>	0,232 <sup>bc</sup>	53,500 <sup>cde</sup>
Molde	OBG	2	12,450 <sup>cde</sup>	199,32 <sup>de</sup>	0,822 <sup>def</sup>	0,236 <sup>bc</sup>	0,235 <sup>c</sup>	50,050 <sup>abc</sup>
<b>Error estándar</b>			0,5644	1,6005	0,0084	0,0149	0,0055	1,4521

- Tipo de  $\beta$ -glucano: BBG: cebada; OBG: avena. Concentración: 0 (ausencia), 1 (0,9 %) y 2 (1,8 %).

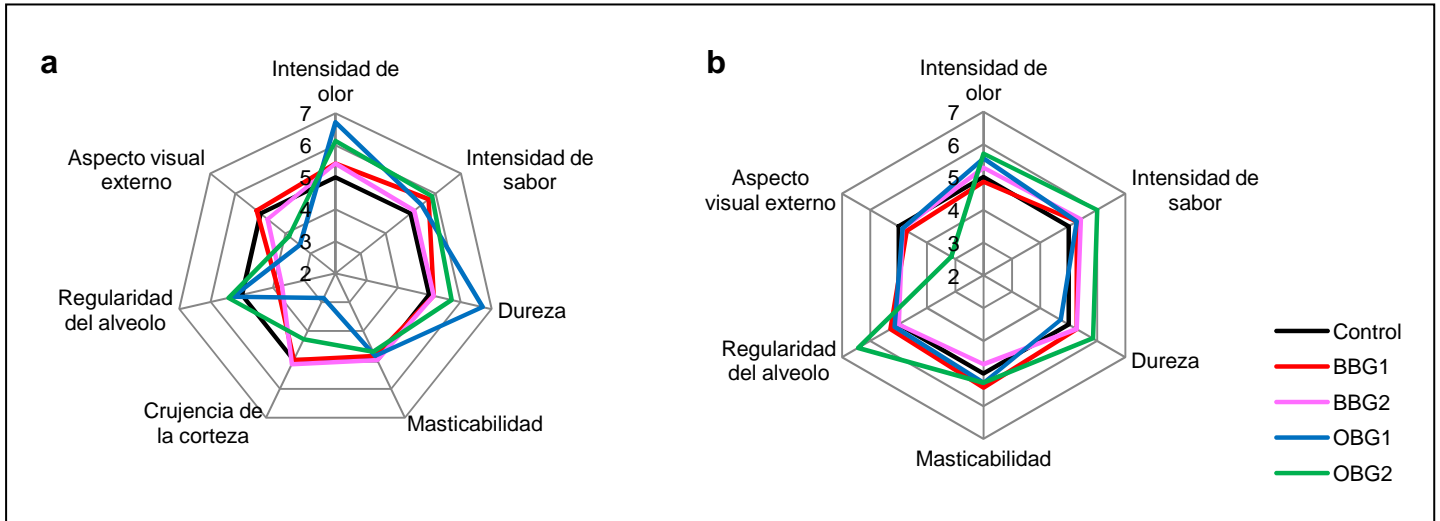
- D-equiv medio: diámetro equivalente medio.

- Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

### 3.10. Evaluación sensorial

En la figura 4 se representan los resultados del análisis sensorial en el que se ha evaluado la intensidad de olor, intensidad de sabor, dureza, masticabilidad, regularidad del alveolo, aspecto visual externo y crujencia de la corteza (este último solo para pan de flama). La evaluación de los catadores arrojó un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) con la adición de  $\beta$ -glucano en los atributos sensoriales de dureza, regularidad del alveolo, aspecto visual externo y crujencia de la corteza.

La intensidad de olor e intensidad de sabor se vieron aumentadas con la presencia de  $\beta$ -glucano en ambos tipos de pan, aunque no de forma significativa. Los mismos resultados fueron obtenidos por Ahmad et al., (2008) quienes estudiaron el efecto de  $\beta$ -glucanos de cebada sobre las características sensoriales del pan añadiendo diferentes concentraciones de  $\beta$ -glucano (1, 2, 3, 4 y 5 % respecto harina), obteniendo también un incremento significativo en la dureza.



- Tipo de  $\beta$ -glucano: BBG:  $\beta$ -glucano de cebada; OBG:  $\beta$ -glucano de avena.
- Dosis 1: 0,9 % en base harina; Dosis 2: 1,8 % en base harina.

**Figura 4:** Representación mediante un gráfico radial de los atributos sensoriales correspondientes a: **a:** Pan de flama. **b:** Pan de molde

Se apreció como los  $\beta$ -glucano ejercieron un mayor efecto sobre las variables sensoriales en pan de flama, mientras que en pan de molde los panes con  $\beta$ -glucano obtuvieron valores muy similares al control, a excepción del pan con OBG en la dosis mayor. Entre los dos  $\beta$ -glucanos fue el OBG el que modificó en mayor medida los atributos sensoriales a estudio, siendo en pan de flama la dosis 1 de OBG la que ejerció un efecto mayor, y en pan de molde la dosis 2 de OBG. Los panes con OBG también presentaron una mayor regularidad en el alveolo y una crujencia de la corteza menor. También fueron los peor valorados en cuanto al aspecto visual externo, ya que, según observaciones de los panelistas, fueron panes de menor volumen y presentaban la corteza arrugada. Los panes con BBG presentaron valores muy similares al pan control en prácticamente todos los atributos sensoriales, excepto en la regularidad del alveolo que ejercieron un efecto negativo en el pan de flama. Sin embargo, Trogh et al., (2004), quienes elaboraron panes con alto contenido en  $\beta$ -glucano a través de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cebada, obtuvieron panes con una buena estructura de miga y alveolado.

#### 4. Conclusión

El objetivo de este estudio fue explorar el impacto de dos  $\beta$ -glucanos de diferente procedencia (cebada y avena) y diferente peso molecular sobre dos elaboraciones de pan (flama y molde) que utilizaban harinas de distinta fuerza. Se observó que la adición de  $\beta$ -glucano causó un aumento en la absorción de agua de las masas

analizadas así como un menor desarrollo fermentativo con respecto al control. Sin embargo, una optimización de la fermentación podría dar lugar a panes con un desarrollo adecuado, con tiempos inferiores a 90 minutos en pan de flama, y 60 minutos en pan de molde. Además se han encontrado diferencias significativas por la incorporación de  $\beta$ -glucano en los parámetros que definen el color, disminuyendo la luminosidad y el tono de la corteza. En cuanto al análisis sensorial la presencia de  $\beta$ -glucanos ejercieron un efecto significativo sobre la dureza, regularidad del alvéolo, la crujencia de la corteza y el aspecto visual externo. En general, el  $\beta$ -glucano de cebada (BBG) ejerció un efecto negativo menor que el  $\beta$ -glucano de avena (de mayor peso molecular) (OBG) en los parámetros analizados, ya que los panes con OBG en la dosis mayor resultaron en los panes con menor volumen, mayor dureza y envejecimiento más acusado. Además, estos efectos negativos fueron más acusados en los panes de flama que en los panes de molde. Sin embargo, para inducir los efectos beneficiosos para la salud atribuidos a los  $\beta$ -glucano se requieren concentraciones elevadas del mismo así como un alto peso molecular. Se puede concluir con que, para el enriquecimiento de panes de calidad que cumplan con las especificaciones de la EFSA, el  $\beta$ -glucano más adecuado sería el BBG así como la elaboración de pan de molde. Panes de calidad con adición de OBG podrían obtenerse también con la incorporación de gluten a la formulación. De este modo, los resultados de este estudio indican que para mejorar los atributos de calidad de los panes enriquecidos con  $\beta$ -glucano se requiere una optimización del proceso de panificación, considerando la calidad de la harina, el tipo de elaboración e ingredientes, así como las dosis y peso molecular de los  $\beta$ -glucanos.

## **5. Agradecimientos**

Este Trabajo Fin de Master ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Proyecto AGL2012-35088) y por la Comunidad de Castilla y León (Proyecto VA252A12-2).

## **6. Bibliografía**

- AACC 2000. Approved Methods of the AACC. AACCI Method 44-19. Moisture – Air Oven Methods.
- Ahmad, A., Anjum, F., Zahoor, T., Chatha, Z., Nawaz, H., (2008). Effect of barley  $\beta$ -glucan on sensory characteristics of bread. Pak. J. Agric. Sci 45(1), 88-94.
- Brennan, C.S., Cleary, L.J., (2005). The potential use of cereal (1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -d-glucans as functional food ingredients. Journal of Cereal Science 42(1), 1-13.

- Brennan, C.S., Cleary, L.J., (2007). Utilisation Glucagel® in the  $\beta$ -glucan enrichment of breads: A physicochemical and nutritional evaluation. *Food Research International* 40(2), 291-296.
- Cavallero, A., Empilli, S., Brighenti, F., Stanca, A., (2002). High (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response. *Journal of Cereal Science* 36(1), 59-66.
- EFSA 2011. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans from oats and barley and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations (ID 1236, 1299), increase in satiety leading to a reduction in energy intake (ID 851, 852), reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 821, 824), and "digestive function" (ID 850) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* 2011;9(6):2207.
- Flander, L., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T., Autio, K., (2007). Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *LWT - Food Science and Technology* 40(5), 860-870.
- Gill, S., Vasanthan, T., Ooraikul, B., Rosnagel, B., (2002). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. *Journal of Cereal Science* 36(2), 219-237.
- Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P.A., Blanco, C.A., Rosell, C.M., (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids* 21(2), 167-173.
- Gormley, T., Morrissey, A., (1993). A note on the evaluation of wheaten breads containing oat flour or oat flakes. *Irish journal of agricultural and food research*, 205-209.
- Hager, A.-S., Ryan, L.A., Schwab, C., Gänzle, M.G., O'Doherty, J.V., Arendt, E.K., (2011). Influence of the soluble fibres inulin and oat  $\beta$ -glucan on quality of dough and bread. *European Food Research and Technology* 232(3), 405-413.
- Havrlentová, M., Petrušáková, Z., Burgárová, A., Gago, F., Hlinková, A., Šturdík, E., (2011). Cereal  $\beta$ -glucans and their significance for the preparation of functional foods - a review. *Czech Journal of Food Sciences* 29(1), 1-14.
- Holtkjølen, A.K., Olsen, H.H.R., Færgestad, E.M., Uhlen, A.K., Knutsen, S.H., (2008). Variations in water absorption capacity and baking performance of barley varieties with different polysaccharide content and composition. *LWT - Food Science and Technology* 41(10), 2085-2091.
- Izydorczyk, M., Dexter, J., (2008). Barley  $\beta$ -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products—a Review. *Food Research International* 41(9), 850-868.
- Khatkar, B.S., Bell, A.E., Schofield, J.D., (1996). A Comparative Study of the Inter-Relationships Between Mixograph Parameters and Bread-Making Qualities of Wheat Flours and Glutens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 72(1), 71-85.
- Kim, Y., Yokoyama, W.H., (2010). Physical and Sensory Properties of All-Barley and All-Oat Breads with Additional Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC)  $\beta$ -Glucan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(2), 741-746.
- Knuckles, B., Hudson, C., Chiu, M., Sayre, R., (1997). Effect of  $\beta$ -glucan barley fractions in high-fiber bread and pasta. *Cereal Foods World* 42(2), 94-99.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., (2007). Molecular aspects of cereal  $\beta$ -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science* 46(2), 101-118.

- Litwinek, D., Gambuś, H., Zięć, G., Sabat, R., Wywrocka-Gurgul, A., Berski, W., (2013). THE COMPARISON OF QUALITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF BREADS BAKED WITH RESIDUAL AND COMMERCIAL OAT FLOURS AND WHEAT FLOUR.
- Mohamed, A., Rayas-Duarte, P., Xu, J., (2008). Hard Red Spring wheat/C-TRIM 20 bread: Formulation, processing and texture analysis. *Food Chemistry* 107(1), 516-524.
- Mohamed, A.A., Rayas-Duarte, P., Xu, J., Palmquist, D.E., Inglett, G., (2005). Hard Red Winter Wheat/Nutrim-OB Alkaline Fresh Noodles: Processing and Texture Analysis. *Journal of food science* 70(1), S1-S7.
- Newman, R., Ore, K., Abbott, J., Newman, C., (1998). Fiber enrichment of baked products with a barley milling fraction. *Cereal Foods World* 43(1), 23-25.
- Oomah, B., Lefkovitch, L., (1988). Optimal oxidant requirement of wheat-oat composite flours. *Food/Nahrung* 32(6), 527-538.
- Rieder, A., Holtekjølén, A.K., Sahlstrøm, S., Moldestad, A., (2012). Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science* 55(1), 44-52.
- Rogers, D., Zeleznak, K., Lai, C., Hosene, R., (1988). Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chem* 65(5), 398-401.
- Skendi, A., Biliaderis, C.G., Lazaridou, A., Izydorczyk, M.S., (2003). Structure and rheological properties of water soluble  $\beta$ -glucans from oat cultivars of *Avena sativa* and *Avena bysantina*. *Journal of Cereal Science* 38(1), 15-31.
- Skendi, A., Biliaderis, C.G., Papageorgiou, M., Izydorczyk, M.S., (2010). Effects of two barley  $\beta$ -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry* 119(3), 1159-1167.
- Skendi, A., Papageorgiou, M., Biliaderis, C.G., (2009). Effect of barley  $\beta$ -glucan molecular size and level on wheat dough rheological properties. *Journal of Food Engineering* 91(4), 594-601.
- Sullivan, P., O'Flaherty, J., Brunton, N., Arendt, E., Gallagher, E., (2011). The utilisation of barley middlings to add value and health benefits to white breads. *Journal of Food Engineering* 105(3), 493-502.
- Symons, L., Brennan, C., (2004). The Influence of (1 $\rightarrow$ 3)(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-Glucan-rich Fractions from Barley on the Physicochemical Properties and In Vitro Reducing Sugar Release of White Wheat Breads. *Journal of food science* 69(6), C463-C467.
- Tiwari, U., Cummins, E., (2009). Factors influencing  $\beta$ -glucan levels and molecular weight in cereal-based products. *Cereal Chemistry* 86(3), 290-301.
- Trogh, I., Courtin, C.M., Andersson, A.A.M., Åman, P., Sørensen, J.F., Delcour, J.A., (2004). The combined use of hull-less barley flour and xylanase as a strategy for wheat/hull-less barley flour breads with increased arabinoxylan and (1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan levels. *Journal of Cereal Science* 40(3), 257-267.
- Vaikousi, H., Biliaderis, C., Izydorczyk, M., (2004). Solution flow behavior and gelling properties of water-soluble barley (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucans varying in molecular size. *Journal of Cereal Science* 39(1), 119-137.



## 7. ANEXO I: Imágenes de los panes de flama y los panes de molde



**Figura 5:** Imágenes de los panes de flama elaborados sin adición de  $\beta$ -glucano (A), con  $\beta$ -glucano de cebada en la dosis menor (B), con  $\beta$ -glucano de cebada en la dosis mayor (C), con  $\beta$ -glucano de avena en la dosis menor (D) y con  $\beta$ -glucano de avena en la dosis mayor (E).



**Figura 6:** Imágenes laterales de los panes de molde elaborados sin adición de  $\beta$ -glucano (A), con  $\beta$ -glucano de cebada en la dosis menor (B), con  $\beta$ -glucano de cebada en la dosis mayor (C), con  $\beta$ -glucano de avena en la dosis menor (D) y con  $\beta$ -glucano de avena en la dosis mayor (E).