



ENRIQUECIMIENTO DE PANES SIN GLUTEN CON (1-3)(1-6)BETAGLUCANOS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2014/15

Alumno: Antonio José Vela Corona

Tutora: Felicidad Ronda Balbás

Tutor: Pedro A. Caballero Calvo

Tutora externa: Sandra Pérez Quirce

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

RESUMEN

La enfermedad celíaca es un trastorno genético que afecta a aproximadamente el 2% de la población, y un problema que enfrentan las personas que la padecen es encontrar alimentos con buena calidad nutricional y organoléptica adaptados a su dieta exenta de gluten. El pan es un producto adecuado para mejorar su calidad nutricional, ya que es un alimento básico de la alimentación, y su calidad suele verse afectada con la ausencia del gluten. Por ello, en este estudio se trabajó con tres β -glucanos del tipo (1-3)(1-6) (dos derivados de levadura y uno de hongo) incorporados en cuatro dosis (0%, 0,5%, 1% y 2%) a masas y a panes. El trabajo se realizó sobre su efecto en masas a hidratación constante, y en panes sin gluten con hidratación adaptada. Los β -glucanos mostraron comportamientos diferentes, siendo SBG el que mostró un comportamiento más parecido al control, mientras que los β -glucanos insolubles mostraron mayores diferencias. La incorporación de todos ellos generó masas más consistentes. La adición de β -glucanos representó un aumento del volumen específico de los panes, una disminución de su dureza, y unos panes más claros. Se observó en los panes con BG una disminución en su dureza en su envejecimiento.

Palabras clave: Sin gluten, (1-3)(1-6)- β -glucano, reología, calidad del pan

ABSTRACT

Celiac disease is a genetic disorder affecting about 2% of the population, and an issue that this people face is finding good food with nutritional and organoleptic quality fitting their gluten-free required diet. Bread is an appropriate product to improve its nutritional quality, since it is a primary food, and its quality is affected by the absence of gluten. Because of that, in this study three types of (1-3)(1-6)- β -glucans (two derived from yeast and one from fungi) were incorporated in four doses (0%, 0,5%, 1% y 2%) to doughs and breads. The study was focused on their effect of in doughs at a constant hydration, and in gluten-free breads with and adapted hydration. The β -glucans showed different behaviors, with SBG being the one with a more similar behavior to the reference, while the insoluble β -glucans showed wider differences. The addition of all of the produced stiffer doughs. About The addition of β -glucans caused an increase in the specific volumen of the breads, a reduction on their hardness and brighter breads. A reduction on the hardness of the breads during their aging was observed in the breads containing β -glucans.

Key words: gluten-free, (1-3)(1-6)- β -glucan, rheology, bread quality

1. INTRODUCCIÓN

Los β -glucanos (BGs) son polisacáridos que se encuentran presentes de forma natural en las paredes celulares del endospermo y en la aleurona de granos de cereales (principalmente cebada, avena), en hongos y algunos microorganismos como en las levaduras de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*) (Liu et al., 2008). La estructura química de los BGs consiste en polisacáridos lineales no ramificados con enlaces β -(1 \rightarrow 3) y unidades β -(1 \rightarrow 4) o β -(1 \rightarrow 6)-D-glucopiranosas, dependiendo de su procedencia. Los que provienen de cereales contienen principalmente enlaces (1 – 3)(1 – 4), mientras que los que provienen de hongos y levaduras contienen enlaces (1 – 3)(1 – 6). Específicamente en las paredes celulares de *Saccharomyces cerevisiae* los BGs se componen mayoritariamente de enlaces β -(1 \rightarrow 3) y pequeñas proporciones de enlaces β -(1 \rightarrow 6) (Balint et al., 1976). En algunos BGs no se produce una sustitución de cadenas laterales, como en el caso del BG de bacteria *curdian*, que sólo contiene enlaces β -(1 \rightarrow 3)-glucosídico. No se conocen BGs no ramificados β -(1 \rightarrow 3) o β -(1 \rightarrow 6) de origen fúngico (Chen & Serviour, 2007; Demleitner et al., 1992). Esta diferencia en la posición de los enlaces hace que sus propiedades físicas varíen considerablemente entre uno y otro (Skendi et al., 2003; Vaikousi et al., 2004; Samuelsen et al., 2014). Las diferencias entre los enlaces de los BGs y su estructura química son importantes en cuanto a su solubilidad, modo de acción y su actividad biológica en general.

En cuanto a sus beneficios para la salud humana, los BGs son una fuente natural de fibra por lo que tienen efectos beneficiosos en la absorción de colesterol, que trae consigo una disminución en el nivel de colesterol en la sangre, previniendo enfermedades cardiovasculares. La viscosidad de los BGs hace que el contenido gástrico sea más viscoso, lo que ralentiza la tasa de absorción de glucosa, por lo que los BGs tienen un efecto de reducción del índice glicémico de los alimentos, lo cual es importante para personas con diabetes. También tienen un efecto en la prevención de ciertas enfermedades intestinales, como el cáncer de colon y la diverticulitis, al funcionar como fibra y ayudar en el proceso de digestión.

La avena y cebada son la fuente principal de obtención de BGs, principalmente porque poseen una alegación nutricional aprobada por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). La EFSA reconoce los efectos beneficiosos que los BGs tienen sobre la salud, específicamente en el mantenimiento de unos niveles normales de concentración de colesterol LDL en la sangre y reducción de la respuesta glucémica postprandial. La EFSA

considera necesaria la ingesta de 3 g de BGs (provenientes de cereales) al día (EFSA, 2011) para conseguir efectos beneficiosos para la salud. The Quaker Oats Co. y Rhodia, Inc. solicitaron una alegación nutricional a la Food and Drug Administration (FDA) en los Estados Unidos en abril del 2002, la cual fue aprobada para una cantidad de 0,75g de BG al día, e indica que existe una relación entre los BGs solubles provenientes de avena integral y la reducción del riesgo de padecer cardiopatía coronaria (CHD), debido a la correlación entre el consumo de BGs y la reducción del colesterol total y el colesterol LDL en la sangre en las pruebas realizadas. Es por esto que hasta ahora la investigación sobre BGs se ha enfocado principalmente a los que provienen de cereales.

En el caso de los BGs provenientes de hongos y levaduras, aunque aún no existe una alegación nutricional aprobada por la EFSA, han sido autorizados recientemente como ingrediente alimentario por la Comisión Europea tras los correspondientes informes de seguridad emitidos por la autoridad europea competente. La Food and Drug Administration (FDA) también lo ha aprobado para el consumo humano y lo ha calificado como “Generally Recognized as Safe (GRAS)” (Samuelsen et al., 2014).

Existen varios estudios que demuestran los efectos beneficiosos que los (1→3)(1→6)-β-glucanos tienen para la salud. La forma purificada de estos BGs extraídos de las paredes celulares de las levaduras de panadería es mucho más importante en la estimulación del sistema inmunológico del cuerpo que cualquier otra fuente de BGs (Balint et al., 1976). Debido a que provienen de microorganismos, estos BGs son reconocidos por receptores de las células del sistema inmune, y así desencadenan respuestas inmunes en los consumidores (Liu et al., 2008). Dado que los BGs no son sintetizados por los humanos, son compuestos reconocidos por el sistema inmune como moléculas extrañas, lo cual induce respuestas inmunes innatas y adaptativas (Chen & Serviour, 2007; Samuelsen et al., 2014). Como inmunomoduladores externos, los BGs estimulan la actividad antitumoral y antimicrobiana, por ejemplo, uniéndose a los receptores en los macrófagos y otras células blancas de la sangre y activándolas (Demleitner et al., 1992). Varias investigaciones consideran a los BGs como una de las mejores y más eficaces sustancias inmunes que se han descubierto. A los BGs provenientes de hongos se les atribuye beneficios a la salud como actividades hipocolesterolemica, antitumoral e inmunomoduladora (Kim et al., 2011; Chen & Serviour, 2007).

Las aplicaciones de BGs provenientes de hongos y levaduras investigadas actualmente son pocas. Sin embargo, debido a sus beneficios a la salud, los BGs provenientes de hongos y

levaduras se han incorporado a cereales, productos de panadería, y alimentos consumidos mayoritariamente en el mundo, como los fideos (Kim et al., 2011). Kim et al. (2011) utilizaron BGs provenientes del hongo *Lentinus edodes* para enriquecer bizcochos, usando a los BGs como sustituto alto en fibra y bajo en calorías de harina de trigo. Cuando los BGs fueron incorporados en la formulación de bizcochos, la viscosidad de la masa aumentó, mostrando un mayor comportamiento pseudoplástico y propiedades elásticas mejoradas. Determinaron que los bizcochos que contienen BGs mostraban una disminución en su volumen y un aumento en la dureza, aunque los bizcochos con una concentración de 1% de BGs no mostraron diferencias significativas respecto al control.

Por su parte Heo et al. (2014) utilizaron en su investigación BGs provenientes del hongo *Lentinus edodes* para mejorar las propiedades funcionales de los fideos de arroz sin gluten. Los resultados mostraron que el uso de BGs incrementaba las propiedades termomecánicas de la harina de arroz en la masa, lo que produjo fideos de arroz con mayor extensibilidad y firmeza, en las tres concentraciones trabajadas (4, 8 y 12%).

En la panificación, los BGs pueden ser utilizados como agentes espesantes para modificar la textura y la apariencia de las formulaciones alimenticias, y también como sustituyentes de la grasa en el desarrollo de productos bajos en calorías.

La utilización de (1→3)(1→6)-β-glucanos resulta de especial interés en productos de panificación debido a la importancia que tiene este alimento a nivel mundial. El pan es el alimento más ampliamente consumido en el mundo, y ha formado parte de la dieta del hombre desde el principio de la historia. Si bien es cierto que la producción y el consumo de pan varían ampliamente de un país a otro, en general se encuentra en la base de la dieta de los países occidentales. Por ejemplo, un estudio realizado por la International Association of Plant Bakers (AIBI) en el 2012 estima que en promedio en Europa se consumen 58,60 kg de pan/persona/año, aunque específicamente en España, este estudio indica que el consumo anual es de 35,93kg/persona.

A pesar de que la integración de BGs en la dieta tiene efectos positivos en la salud y beneficios nutricionales, sus propiedades físico químicas pueden provocar cambios en el pan, alterando el comportamiento de la masa y las características del producto finalmente obtenido. La adición de BGs procedentes de avena o cebada (la más extensamente estudiada hasta ahora en productos de panificación) en dosis elevadas (10-30%) provoca una alta retención de agua, y un pan de color más oscuro y efectos negativos en la textura

de la miga, como incremento en su firmeza y reducción del volumen del pan (Cavallero et al., 2002; Newman et al., 1998). Otros estudios han determinado que la incorporación de BGs aumenta la vida útil de los panes y mejora la estructura de la miga, ya que favorece la estabilización de las burbujas de aire en la masa y previene su coalescencia (Lazaridou et al., 2007).

Existe una fracción de la población que no puede consumir el pan tradicionalmente elaborado, debido a la presencia de gluten en él, los celíacos y los alérgicos al gluten. La enfermedad celíaca (EC) es un proceso frecuente (1-2% de la población general a nivel mundial) de naturaleza autoinmune, que afecta a individuos genéticamente predispuestos, inducido por la ingesta de gluten, un conjunto de proteínas contenidas en la harina de diversos cereales, fundamentalmente el trigo. Es considerada actualmente no solo como una enfermedad digestiva, sino también sistémica, presentando síntomas muy diversos, con diferentes procesos patológicos asociados. Puede aparecer a cualquier edad de la vida, tanto durante la infancia como en la adolescencia y es muy frecuente también su aparición en edades adultas (Rodríguez, 2010). El agente responsable es el gluten, que es un factor importante en la panificación, ya que forma la red viscoelástica que permite la formación del pan y evita que el gas producido durante la fermentación escape. Por dicha razón, es especialmente difícil para los celíacos y alérgicos al gluten encontrar productos que puedan consumir, siendo su calidad y variedad muy limitada.

Recientemente hay una tendencia en aumento por la investigación enfocada en la generación de productos sin gluten. En el caso de los panes sin gluten, es necesario utilizar un mimético del gluten, que realice su función, es decir, que permita la elasticidad de la masa y evite que se escape el gas de la fermentación para obtener panes con consistencia elástica y esponjosa. Para esto se utilizan hidrocoloides, que son polímeros de alto peso molecular que actúan como estabilizantes, espesantes y/o gelificantes en sistemas alimenticios, que en el caso específico de panificación, permiten reemplazar la función del gluten (Rodríguez, Sandoval & Ayala, 2003).

Trabajos previos del grupo en el que se ha desarrollado el presente proyecto han estudiado el enriquecimiento de panes sin gluten con concentrados comerciales de BGs procedentes de cereales. Se ha concluido la viabilidad de estos productos, con una adecuada calidad sensorial y física, y el gran efecto que la hidratación de las masas (Ronda et al. 2013; Pérez-Quirce et al. 2014; Ronda et al., 2015) y el Peso Molecular de los BGs ejerce en los resultados obtenidos (Ronda et al. 2015). Sin embargo, en lo que sabemos, no hay estudios

disponibles del efecto de la adición de BGs procedentes de hongos o levaduras al pan, ni de trigo ni de otros cereales.

En el presente trabajo de investigación se analiza el efecto que tiene la adición de tres tipos diferentes de BGs a pan sin gluten. Se trabajó con un BG obtenido a partir de hongos, y dos BGs provenientes de levaduras, de los cuales uno es soluble y otro insoluble. Hasta ahora no se ha investigado el efecto que tiene la integración de los (1→3)(1→6)-β-glucanos en un producto tan altamente consumido a nivel mundial, como es el pan. Con la integración de BG en los panes se busca añadir calidad nutricional a los productos libres de gluten, ya que van destinados a una población de salud vulnerable que pueden verse especialmente beneficiada por los efectos saludables antes mencionados. Las dosis de adición que se van a emplear en este trabajo van a ser trabajar con dosis del 0, 0,5, 1 y 2% (base harina).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo fue el aumento del valor nutricional de panes sin gluten, enriqueciéndolos con (1-3)(1-6)-β-glucanos. Para ello se ha estudiado el efecto que dicho enriquecimiento tiene sobre las masas y los panes. Se realizaron ensayos de reología para las masas y medidas instrumentales para los panes. Para los panes se estudiaron sus propiedades morfogeométricas de los panes, textura de la miga y color de la corteza y la miga.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

El β-glucano de levadura *Wellmune WGP® Dispersible Powder* (IBG) (Biothera, Eagan, Minnesota, USA) es insoluble derivado de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, obtenido de las paredes celulares mediante procesos físicos de separación. Presenta la siguiente composición (datos comerciales): Pureza del 83% (79,25% en base seca), carbohidratos (84,49%), proteína (2,86%), cenizas (0,77%), grasas (7,50%) y humedad (4,51%) (las humedades de los BGs fueron determinadas utilizando el mismo procedimiento que con los panes, explicado en “Humedad” de esta sección).

El β-glucano de levadura *Wellmune® Soluble Powder*, (SBG) al igual que el anterior, fue facilitado de forma gratuita por Biothera, (Eagan, Minnesota, USA) es derivado de la

levadura *Saccharomyces cerevisiae*, obtenido de las paredes celulares mediante procesos físicos de separación. Presenta una pureza del 107% (91,35% en base seca) y contiene carbohidratos (92,11%), proteína (0,68%), cenizas (0,89%), grasas (<0,01%) y humedad (6,79%).

El β -glucano fúngico *Pleuran*[®] (FBG) (Bratislava, Slovak Republic) es derivado del hongo *Pleurotus ostreatus*, el cual fue facilitado de forma gratuita por Merck Farma y Química (Barcelona, España). Físicamente es un polvo fino, casi blanco, cuya pureza es de 90,62% en base seca, tiene ausencia de lípidos y proteínas, una humedad del 2,56% y un recuento de microorganismos totales < 100.

Para la elaboración de las masas y de los panes, además del β -glucano se utilizó harina de arroz (12,5% humedad, 0,46% cenizas, 7,5% proteína, 0,49% grasa y 79,1% almidón, tamaño de partícula: 6%>150 μ m, 150 μ m>63,2%>100 μ m, 30,8% < 100 μ m) suministrada por Herba Ricemills S.L.U. (Sevilla, España), sal, azúcar y aceite de girasol provenientes del mercado local, HPMC Methocel K4M de Dow Wolff Cellulosics (Midland, USA) suministrado gratuitamente por, Brenntag (Madrid, España), agua procedente de la red local y levadura de panadería seca instantánea “European” (Estambul, Turquía), utilizada únicamente en la elaboración de los panes, no en los ensayos reológicos de las masas.

3.2. Métodos

3.2.1. Formulaciones y elaboración de los panes

La fórmula que se siguió para la elaboración de panes constó de harina de arroz, y de los siguientes ingredientes expresados como porcentaje en base a la harina utilizada: aceite de girasol (6%), azúcar (5%), levadura (3%), HPMC (2%), sal (1,8%), agua (entre 91% y 104% dependiendo de la formulación) y BG (entre 0 y 2%, dependiendo de la formulación) (ver Tabla 1).

El contenido de agua de las fórmulas con BG se incrementó teniendo en cuenta los resultados de consistencia obtenidos en ensayos de extrusión para cada tipo y concentración estudiada, y la experiencia alcanzada en trabajos previos (Ronda et al, 2013). Una vez establecidas las condiciones óptimas de proceso se realizaron y evaluaron un total de 12 elaboraciones con tres tipos de BG: procedente de levadura, soluble (SBG) o insoluble (IBG), y procedentes de hongo (FBG), y con cuatro concentraciones diferentes

(0, 0,5 %, 1% y 2% referido a la harina). Las formulaciones trabajadas se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Proporciones de agua y β -glucano utilizado en la elaboración de las masas y de los panes, expresado en base a la harina de arroz.

Tipo β -glucano	% de BG utilizado	% de agua utilizada	Pureza (%)
Sin adición (Control)	0	92	
IBG	0,5	95	
	1	98	79,25
	2	104	
	0,5	91,5	
SBG	1	91	91,35
	2	90	
	0,5	94	
FBG	1	96	90,62
	2	100	

3.2.2. Proceso de elaboración de los panes

Los ingredientes sólidos (harina, azúcar, sal, HPMC, BG) y el aceite de girasol fueron pesados en el bol de mezcla de la amasadora Kitchen-aid profesional KPM5 (St.Joseph, Michigan, USA) con una balanza Satorius TEG 101 y posteriormente mezclados con varilla a la velocidad 2 durante 2 minutos. Transcurrido este tiempo se detuvo la batidora y se separaron los ingredientes de las paredes del bol. Seguidamente se continuó con la mezcla a la misma velocidad durante 5 minutos. Posteriormente se añadió el agua junto con la levadura, previamente hidratada. El agua empleada se llevó a la temperatura necesaria, siguiendo la fórmula: $T^{\text{a}}_{\text{agua}} = 56 - T^{\text{a}}_{\text{harina}} - T^{\text{a}}_{\text{obrador}}$. La adición del agua se realizó lentamente, con la amasadora en funcionamiento, y se continuó amasando durante 8 minutos a velocidad 4. Para hacer los panes se utilizaron moldes de aluminio de 159 x 109 x 38mm que se llenaron con 200g de masa y se introdujeron en la fermentadora Sveba Dahlen (Fristad, Sweden), programada a una temperatura de 28°C y 80% de humedad relativa, durante 50 minutos. A continuación los panes se introdujeron en el horno eléctrico giratorio marca Sveba Dahlen (Fristad, Sweden), a una temperatura de 170°C durante 20

minutos. Al finalizar el horneado se dejaron enfriar durante 60 minutos, a temperatura ambiente, antes de proceder a realizar las mediciones del pan tierno (día 0). De cada formulación se realizaron mediciones sobre dos panes.

3.3. Caracterización reológica de las masas

Con el objeto de cuantificar el efecto individual de la dosis y tipo de BGs sobre la reología de las masas, se elaboraron sin variar la dosis de agua, y por lo tanto a hidratación constante del 92% (igual que el control). Las masas destinadas a los ensayos reológicos no contenían levadura con el fin de poder obtener lecturas estables. Se utilizó un reómetro de esfuerzo controlado RheoStress (Thermo Haake, Karlsruhe, Alemania) y un baño de agua Phoenix II P1-C25P que controlaba la temperatura de análisis. Todas las medidas se monitorizaron con el programa informático Rheowin Pro Job Manager (Thermo Haake, Karlsruhe, Alemania). Las mediciones reológicas de las masas se hicieron utilizando una geometría de platos paralelos de titanio de 60 mm de diámetro (PP60 Ti), de superficie ranurada para evitar el deslizamiento de la masa durante la realización de las pruebas, con un espacio entre platos de 3 mm y una temperatura de operación constante de 25°C. Una vez ajustado el espacio entre platos, el exceso de la muestra que sobresalía se retiró con una espátula e inmediatamente, para prevenir la pérdida de humedad, la superficie de masa expuesta al aire entre los dos platos se cubrió con aceite de vaselina Panreac (Panreac Química SA, Castellar del Vallés, España).

Se realizó un barrido de esfuerzos con cada masa para determinar la zona viscoelástica lineal (LVR), y establecer el esfuerzo a aplicar en el barrido de frecuencias posterior. Para ello, se realizó un barrido desde 0 Pa hasta 200 Pa a una frecuencia constante de 1 Hz, precedido de un tiempo de reposo de 500 s. Todas las masas quedaban incluidas porque los esfuerzos límite donde se pierde la LVR mayores a 1,5Pa. A continuación, el barrido de frecuencias fue llevado a cabo desde 1 hasta 10 Hz. Los datos del barrido de frecuencias se ajustaron a una ecuación de la potencia, tal y como se observa en las formulas siguientes.

$$\left| \begin{array}{l} G'(\omega) = G'_1 \cdot \omega^a \\ (1) \end{array} \right| \left| \begin{array}{l} G''(\omega) = G''_1 \cdot \omega^b \\ (2) \end{array} \right| \left| \begin{array}{l} \tan\delta(\omega) = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \left(\frac{G''}{G'}\right)_1 \cdot \omega^{(b-a)} = (\tan\delta)_1 \cdot \omega^{(c)} \\ (3) \end{array} \right|$$

Los coeficientes $G'1$, $G''1$ y $(\tan \delta)1$, representan los módulos elástico y viscoso y la tangente de pérdida a la frecuencia constante de 1Hz, respectivamente. Los exponentes “a”, “b” y “c” cuantifican el grado de dependencia de estos módulos y de la tangente de pérdida con la variación de la frecuencia. Este ensayo se realizó por duplicado.

Para la realización de los ensayos de deformación progresiva (creep) y de recuperación progresiva (recovery) se aplicó a la masa un esfuerzo constante de 1,5 Pa (valor incluido en la LVR de todas las masas), durante un periodo de 150 segundos. Una vez retirada la fuerza se estudió la recuperación de la masa. Este test se hizo por triplicado. El resultado del ensayo de deformación progresiva se da en términos de capacitancia elástica (J), la cual se define como la deformación en función del esfuerzo aplicado. Los datos del ensayo de deformación progresiva se ajustaron al modelo de Burger de cuatro parámetros:

$$(4) J_c(t) = J_0 + J_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\lambda_1}\right) \right) + \frac{t}{\mu_0}$$

En donde J_c es la capacitancia elástica en el ensayo de deformación progresiva, J_0 es la capacitancia elástica instantánea, J_1 es la capacitancia elástica retardada o viscoelástica, λ_1 es el tiempo de retardo y μ_0 es la viscosidad en estado estacionario. Una ecuación similar se ha usado para la capacitancia en el ensayo de recuperación $J_r(t)$. El modelo de Burger viene dado en este caso por la siguiente ecuación:

$$(5) J_r(t) = J_{max} - J_{r0} + J_{r1} \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\lambda_1}\right) \right)$$

En donde J_{max} es la máxima capacitancia obtenida al final del ensayo de deformación progresiva, J_{r0} es la capacitancia correspondiente a la recuperación elástica instantánea, J_{r1} es la debida a la recuperación elástica retardada y λ_1 es el tiempo de retardo.

3.4. Caracterización de los panes

3.2.2. Fotografías

Se tomaron fotografías del pan para tener constancia de su aspecto visual. Se tomaron fotos laterales, de la cara superior y de dos rebanadas. Para ello se utilizó una cámara Olympus SP 510VZ 10x optical zoom. Las fotografías se realizaron con iluminación artificial de luz blanca sobre fondo negro.

3.2.3. Peso

El peso de todos los panes se determinó utilizando una balanza COBOS (Barcelona, España). La pérdida de peso se obtuvo calculando la diferencia de peso de los panes elaborados con respecto al peso de la masa que se introdujo en los moldes antes de someterlos al proceso de fermentación y horneado (200g).

3.2.4. Color

El color de la corteza y de la miga de los panes se midió utilizando un espectrofotómetro de marca Minolta, modelo CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón). Los resultados se obtuvieron usando el iluminante D65 y observador estándar 2º, y se expresaron en el espacio de color CIE L*a*b. A partir de estos valores se obtuvieron el tono (h) y la saturación (C*). El color de la corteza fue medido en cuatro puntos diferentes de dos panes de cada formulación. El color de la miga se midió en 2 rebanadas de cada pan por ambos lados, midiendo dos panes de cada elaboración.

3.2.5. Volumen

El volumen se determinó utilizando el medidor de volumen VolScan Profiler 300 (Stable Micro Systems, Godalming, UK), con el software VolScan. El volumen específico se determinó mediante el cociente entre el volumen (en mililitros) y la masa del pan (en gramos), determinado previamente con una balanza COBOS (Barcelona, España). Se determinó dos veces el volumen de dos panes por cada elaboración realizada, en el día 0.

3.2.6. Textura

La textura de la miga se evaluó con un texturómetro universal TA-XT2 (Stable Micro Systems, Godalming, UK) provisto con el software "Texture Expert". Se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio de 20mm de diámetro (SMS P20), con un área de contacto de 316,16mm². El ensayo llevado a cabo fue de doble compresión "Texture Profile Analysis" (TPA) sobre rebanadas de pan de 20mm de espesor, para penetrar un 50% de profundidad a una velocidad de 1mm/s, con un tiempo de espera de 30 segundos entre la primera y la segunda compresión. Los parámetros que se determinaron fueron dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia a partir del gráfico TPA. Las mediciones se realizaron sobre dos rebanadas de cada uno de los dos panes analizados. Para evaluar el envejecimiento se midieron dos rebanadas de un mismo pan en cada día analizado.

3.2.7. Envejecimiento

Una vez enfriados y pesados los panes, los destinados al estudio del envejecimiento se introdujeron en bolsas de congelación de polietileno de 22x35 cm, que se cerraron y conservaron en el frigorífico a una temperatura de 4°C. El día que debían ser medidos fueron sacados del frigorífico y dejados durante una hora a temperatura ambiente antes de realizar la medición de textura. Las mediciones del envejecimiento se realizaron el día 1, 2, 4, 7 y 9.

3.2.8. Humedad

El contenido en humedad de la miga, de cada formulación trabajada, se evaluó mediante el método estándar AACC 2000 (44-19), para lo que se utilizó una balanza de precisión COBOS-Serie XB (COBOS®, Barcelona, España) y una estufa de ventilación forzada WTB Binder (Tuttlingen, Alemania) operando a 110°C. La humedad se determinó a partir de la pérdida de peso de aproximadamente dos gramos de miga introducidos en una cápsula de acero inoxidable durante 24 ± 2 horas en la estufa de ventilación forzada.

3.5. Estadística

Los datos se analizaron con los programas estadísticos Statgraphics Centurion XVII (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, USA) y Statistica v.12 (StatSoft Inc, Tulsa, USA). Se empleó el primero de ellos para realizar los ajustes de los ensayos de deformación progresiva y relajación de la masa (regresión no lineal). Con el programa Statistica v.12 se realizó un análisis de varianza ANOVA y la prueba Fisher LSD para describir las diferencias significativas entre las medias a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de determinar el efecto que los tres tipos de β -glucanos (SBG, IBG y FBG) en las diferentes concentraciones empleadas (0, 0,5%, 1% y 2%) tienen en el pan sin gluten, se midieron las propiedades reológicas de las masas y las propiedades morfogeométricas, textura y vida útil de los panes obtenidos. Se realizó un diseño que utilizaba dosis de agua adaptadas a cada dosis y tipo de BG, establecidas mediante ensayos preliminares, según se ha indicado en la sección 3. Materiales y métodos. A continuación se analizan y discuten los resultados obtenidos para los parámetros que se han considerado más relevantes y siempre que hayan sido significativamente ($p < 0,05$) afectados por los factores de estudio.

Se estudió la dependencia de estos parámetros (variables dependientes) con respecto a los factores de estudio: la presencia de BG, el tipo de BG y la dosis empleada (variables independientes). Las dosis de BG que se mencionarán en lo sucesivo se corresponden a las mencionadas en la Tabla 1 del apartado 3. Materiales y métodos.

4.1. Reología

Con el objeto de estudiar el efecto que los diferentes tipos de BGs tienen sobre las masas de pan, se procedió a la realización de ensayos reológicos fundamentales. Estudios previos han demostrado una buena correlación entre estas propiedades reológicas y los parámetros de calidad del pan (Dobraszczyk y Morgenstern, 2003; Demirkesen et al, 2010).

4.1.1. Barrido de frecuencias

Los coeficientes G'_1 y G''_1 representan, respectivamente, el módulo elástico y el módulo viscoso a una frecuencia de 1 Hz, y los exponentes a y b , cuantifican la variación de los módulos dinámicos con frecuencia. En todos los casos, estos parámetros dependieron en gran medida del tipo de BG utilizado en la masa y la dosis empleada. Los resultados se muestran en la Tabla 2 y en la figura 1.

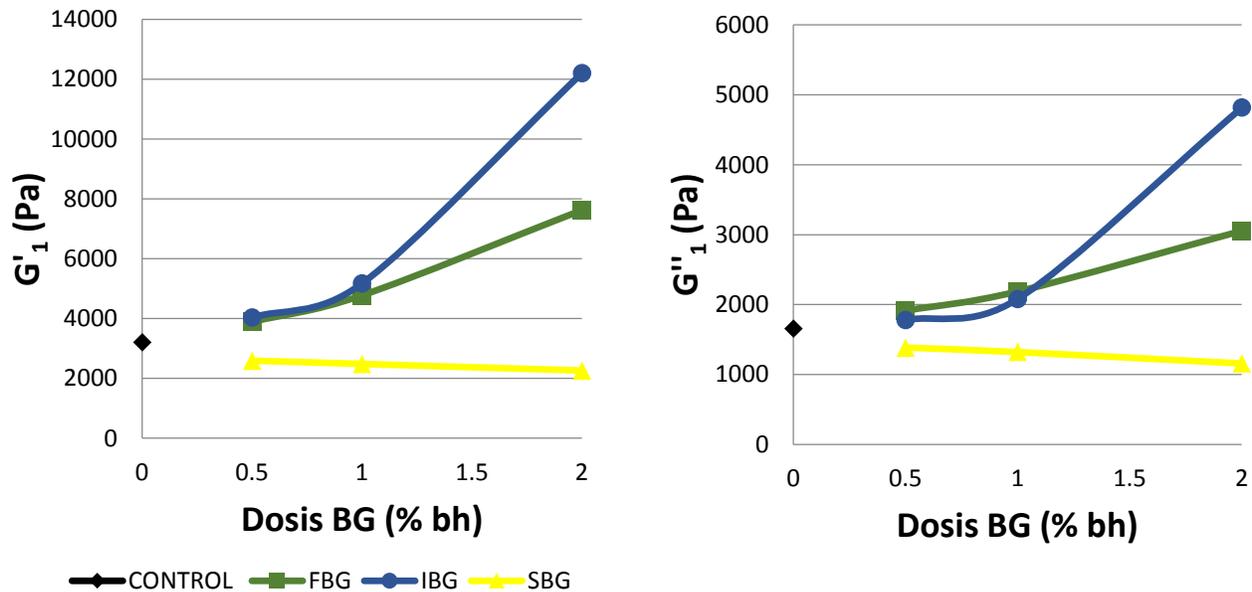


Figura 1. Evolución del módulo elástico (izqda.) y del módulo viscoso (dcha.) en función de la dosis utilizada para una frecuencia de 1Hz.

Tabla 2. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para los parámetros reológicos del barrido de frecuencias, correspondientes a masas con BG

Tipo	Dosis (%)	G' ₁ (Pa)	a	G'' ₁ (Pa)	b	(tan δ) ₁	c						
Control	0	3209	b, c	0,328	f	1654	b, c, d	0,3237	e	0,518	e	-0,0038	a, b, c, d
SBG	0,5	2587	a, b	0,326	d, e, f	1385	a, b, c	0,3181	d, e	0,535	e	-0,0079	a, b, c, d
SBG	1	2478	a, b	0,330	e, f	1321	a, b	0,3042	c, d, e	0,534	e	-0,0253	a
SBG	2	2260	a	0,298	c, d, e	1158	a	0,2945	b, c, d	0,512	d, e	-0,0040	a, b, c, d
FBG	0,5	3886	c, d	0,295	b, c, d, e	1913	d, e, f	0,2811	a, b, c	0,492	c, d, e	-0,0144	a, b
FBG	1	4772	d, e	0,293	b, c, d	2187	f	0,2968	b, c, d	0,459	b, c, d	0,0039	b, c, d
FBG	2	7623	f	0,254	a	3054	g	0,2662	a	0,401	a, b	0,0121	c, d
IBG	0,5	4033	d	0,281	a, b, c	1778	c, d, e	0,3014	c, d	0,442	a, b, c	0,0204	d
IBG	1	5169	e	0,255	a	2079	e, f	0,2756	a, b	0,402	a, b	0,0204	d
IBG	2	12200	g	0,264	a, b	4817	h	0,2643	a	0,395	a	0,0004	a, b, c, d
Error Estándar		332		0,012		136		0,0080		0,023		0,0097	

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). G'₁: módulo elástico; G''₁: módulo viscoso; (tan δ)₁: tangente de pérdida; a, b, c: parámetros experimentales.

El módulo elástico (G'₁) se ve afectado de diferente forma en función de cada BG. En el caso de SBG se observaron valores menores a los determinados para el control, los cuales tienen una tendencia de disminuir a medida que la dosis empleada aumenta. En los otros dos casos (IBG y FBG) se observa un comportamiento opuesto, ya que se obtuvieron valores mayores al valor del control, y tienen un comportamiento directamente proporcional al de la dosis empleada, siendo el valor máximo el determinado al trabajar con la dosis máxima. Para las dosis más bajas de cada BG, se puede concluir que no existe una diferencia con respecto al control, ya que no se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a éste. La dosis máxima estudiada de FBG llegó a tener un módulo viscoso de 137,58% mayor que el determinado para el control, mientras que la mayor dosis de IBG fue un 280,24% mayor al control.

Los barridos de frecuencias mostraron que todos los valores determinados para el módulo elástico fueron mayores a los determinados para el módulo viscoso, en todas las masas estudiadas, en todo el rango de frecuencias. Esto sugiere un comportamiento elástico característico de las masas sin gluten (Hager et al, 2011; Lazaridou & Biliaderis, 2007; Ronda et al, 2013). El valor de G'₁ se relaciona en gran medida con la consistencia de la masa, y ya que se trabajó con una hidratación constante en todas las formulaciones, se

pudo observar claramente el papel que juega la solubilidad de los BG en la fuerza de la masa. Por ello se observaron valores muy superiores en el caso de IBG y FBG, que son BG insolubles, y aportan una consistencia superior a las masas, a diferencia de SBG, que es soluble y por lo tanto se comporta de una forma similar al control.

En el módulo viscoso (G''_1) se puede observar un comportamiento similar al determinado para el módulo elástico. Los valores determinados para SBG fueron menores que el control en las tres dosis estudiadas, siguiendo una relación inversamente proporcional entre la dosis utilizada y el módulo viscoso determinado, sin embargo, las dosis del 0,5% y 1% no mostraron una diferencia significativa respecto al control ($p < 0,05$). Por otro lado, los otros dos BG estudiados, FBG e IBG, mostraron módulos viscosos superiores al control en todas las dosis estudiadas, siguiendo una correlación directa con la dosis estudiada. El módulo viscoso determinado para FBG fue un 84,72% mayor que el valor determinado para el control, mientras que el módulo viscoso de IBG superó al control por un 191,34%. Los resultados mostraron que no existen diferencias significativas entre el control y la dosis más pequeña estudiada, para ninguno de los tres BGs.

Otros estudios han demostrado la importancia del efecto del hidrocoloide empleado en la relación G''/G' de sistemas libres de gluten, que dependen del tipo y la dosis del hidrocoloide empleado (Lazaridou et al, 2007); dado que los BG se comportan como hidrocoloideos, se ha observado que los resultados varían en gran medida de un tipo de BG a otro. Esta influencia parece estar relacionada con la estructura molecular y la configuración de los enlaces en los polisacáridos, lo cual determina las asociaciones físicas intermoleculares de las cadenas poliméricas (Ronda et al, 2013).

En cuanto a la tangente de pérdida ($\tan \delta$), no se detectaron diferencias significativas entre el control y las tres dosis trabajadas con SBG, mientras que sí las hubo con los resultados obtenidos para FBG e IBG. Las muestras que contienen FBG e IBG mostraron una tendencia decreciente de este parámetro conforme aumenta la dosis de BG en la masa, lo que se debe al incremento exponencial que tiene el comportamiento elástico en las masas elaboradas con dichos BGs. La adición de BG afecta a la proporción de la componente viscosa respecto a la elástica debido a su capacidad de retención de agua (Hager et al, 2011), lo cual se observa de forma más clara comparando los resultados obtenidos con los BG insolubles (IBG y FBG) y el soluble (SBG).

Weipert (1990) demostró que las masas con menor tangente de pérdida reflejan un comportamiento más rígido y espeso, mientras que las masas más húmedas y flojas

exhiben valores de tangente más altos, lo que en este caso se puede observar entre el control y SBG, que fueron masas más húmedas y menos consistentes, mientras que FBG e IBG, por ser insolubles, tienden a formar masas más rígidas.

Todos los valores de la tangente de pérdida fueron menores de 1 como consecuencia de que el módulo elástico es mayor que el módulo viscoso. Se han determinado resultados similares en masas de harina de trigo (Angioloni y Collar, 2009; Dobraszczyk y Morgenstern, 2003; Edwards et al., 2003; Weipert, 1990), así como en masas de harina de arroz (Gujral et al, 2003; Lazaridou et al., 2007; Sivaramakrishnan et al, 2004).

Otros autores también han determinado importantes efectos de los hidrocoloides sobre la tangente de pérdida en elaboraciones sin gluten, en función del tipo y dosis del hidrocoloide (Lazaridou et al, 2007). Como se ha indicado anteriormente, esta influencia se relaciona con la estructura molecular y la conformación de la cadena de polisacáridos que determinan las asociaciones moleculares físicas entre las cadenas poliméricas (Ronda et al, 2013).

El grado de dependencia del módulo elástico con la variación de la frecuencia (exponente a), sufrió una disminución con respecto al control al adicionar BG a las masas. El menor efecto se determinó al utilizar SBG, ya que para la dosis de 0,5% y 1% no se determinaron diferencias significativas respecto al control. En el caso de FBG, el aumento en la dosis utilizada llevó a una disminución en el valor determinado para el exponente a. Por otra parte, en el caso de IBG se sigue la misma tendencia con las dosis más bajas, mientras que la dosis máxima supuso un aumento de este parámetro, alterando dicha tendencia. La dosis del 0,5% y el 1% para IBG no mostraron diferencias significativas respecto al control ($p < 0,05$) Ronda et al (2013) determinaron también una disminución en el exponente "a" para masas con BG y una hidratación superior al 70%. Los valores bajos del exponente a significan que el módulo elástico G' no es dependiente de la frecuencia, mientras que valores elevados indican un mayor aumento en el módulo elástico con la frecuencia (Ronda et al, 2013). A pesar que IBG y FBG suponen un incremento del módulo elástico, la variación de éste con la frecuencia se produce en menor magnitud.

El grado de dependencia del módulo viscoso con la variación de la frecuencia (exponente b), que muestra la variación de la componente viscosa frente a la frecuencia, sufrió una disminución con respecto al control al adicionar BG a las masas. El menor efecto se determinó al utilizar SBG, seguido por FBG e IBG, los cuales mostraron resultados similares. De las pruebas realizadas, únicamente la dosis del 0,5% y el 1% de SBG no mostraron diferencias significativas respecto al control ($p < 0,05$).

El grado de dependencia de la tangente de pérdida con la variación de la frecuencia (exponente c) mostró pequeñas variaciones respecto al control. Los valores determinados para las tres dosis estudiadas de SBG y FBG no tuvieron diferencias significativas respecto al control, mientras que de las tres dosis trabajadas de IBG, únicamente la dosis máxima no fue significativamente diferente al control.

4.1.2. Ensayos de deformación progresiva y relajación (Test creep-recovery)

Las curvas obtenidas en el ensayo de deformación progresiva y relajación de las masas estudiadas presentan un comportamiento típico viscoelástico, que combina el comportamiento de un fluido viscoso con el de un sólido elástico. El comportamiento de estas masas es similar al obtenido para masas de harina de trigo (Rouille et al, 2005), masas de harina de arroz (Sivaramakrishnan et al, 2004; Ronda et al, 2015) y otras masas libres de gluten (Lazaridou et al, 2007). Debido a que los ensayos se realizaron en la zona viscoelástica, las curvas obtenidas en la zona de deformación y de relajación siguieron un total paralelismo y los parámetros de ajuste de ambos segmentos resultaron totalmente equivalentes. Por esa razón sólo se presentan los resultados correspondientes a la zona de deformación progresiva. La Tabla 3 resume los valores obtenidos en este test y se muestra un ejemplo de las curvas resultantes en la figura 2.

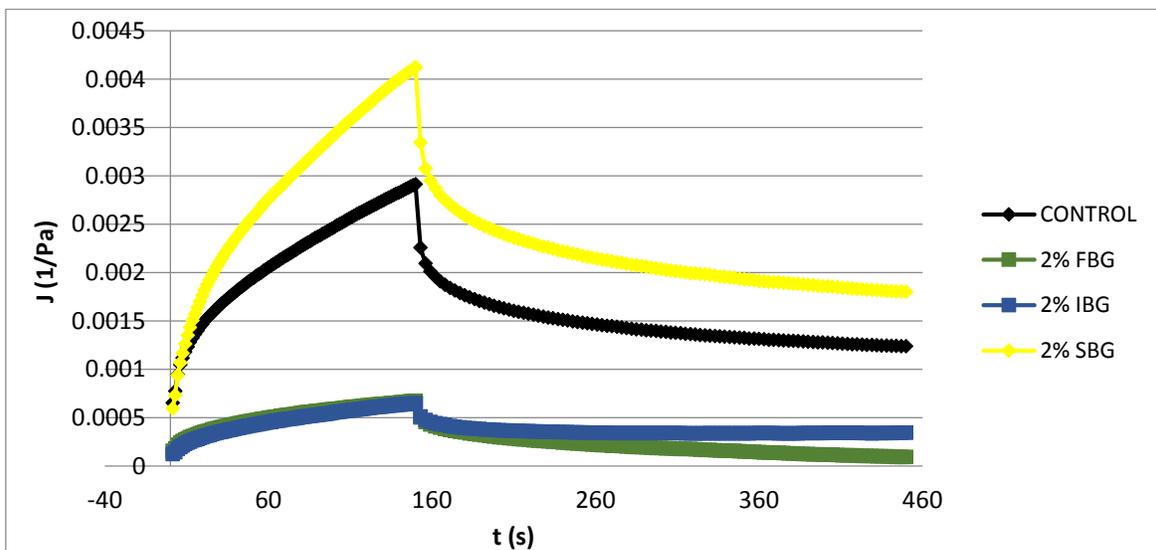


Figura 2. Test creep-recovery para las dosis máximas de BG estudiadas

Tabla 3. Valores medios y grupos homogéneos para los parámetros obtenidos en los ensayos de deformación progresiva y de relajación, correspondientes a masas aditivadas con BG.

Tipo	Dosis (%)	Ensayo de deformación progresiva					Ensayo de relajación					PR
		J_0 (Pa ⁻¹) (10 ⁻⁴)	J_1 (Pa ⁻¹) (10 ⁻⁴)	λ_1 (s)	η_0 (Pa·s)	J_0 (Pa ⁻¹) (10 ⁻⁴)	J_1 (Pa ⁻¹) (10 ⁻⁴)	λ_1 (s)				
Control	0	6,2 e	8,9 e	18,6 a	9,6E+04 a, b	8,1 f	7,7 d	52,6 b	47,4 b			
SBG	0,5	6,3 e	13,1 f	22,4 a	7,9E+04 a, b	9,1 g	11,3 e	62,3 b, c, d	45,8 b			
SBG	1	6,9 e	12,2 f	23,9 a	8,5E+04 a, b	8,8 f, g	11,8 e	70,2 b, c, d	42,5 a, b			
SBG	2	5,7 e	12,5 f	16,8 a	6,7E+04 a	10,2 h	11,8 e	69,0 b, c, d	44,2 b			
FBG	0,5	3,6 c, d	9,0 e	23,0 a	1,4E+05 b, c	5,1 d, e	7,2 d	71,6 c, d	46,1 b			
FBG	1	3,1 c	5,8 c, d	21,2 a	1,9E+05 c, d	4,2 c, d	5,3 c	69,3 b, c, d	43,0 a, b			
FBG	2	1,8 a, b	2,6 a, b	21,3 a	4,2E+05 e	2,5 b	3,2 b	80,2 d	33,1 a			
IBG	0,5	4,5 d	7,4 d, e	19,3 a	1,6E+05 c	5,5 e	5,9 c	54,3 b, c	47,9 b			
IBG	1	2,9 b, c	4,4 b, c	23,2 a	2,5E+05 d	3,5 c	3,8 b	61,7 b, c, d	44,0 b			
IBG	2	1,4 a	2,2 a	22,7 a	4,7E+05 e	1,3 a	1,5 a	20,2 a	59,9 c			
Error Estándar		4,4	0,73	2,7	2,5E+04	0,35	0,44	7,6	3,6			

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). J_0 : capacitancia instantánea; J_1 : capacitancia elástica retardada; λ_1 : tiempo de retardo; η_0 : viscosidad estacionaria; PR: porcentaje de recuperación.

En cuanto al comportamiento de la capacitancia elástica instantánea (J_0) en función al tipo de BG y la dosis trabajada, los resultados obtenidos para las tres dosis estudiadas de SBG mostraron resultados muy similares al control, y no se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$). En los resultados de FBG e IBG se observa una relación inversa entre la dosis y la capacitancia elástica instantánea. Para dichas masas se determinó que existen diferencias significativas con respecto al control. En la menor dosis, el mayor efecto se determinó para FBG, sin embargo, para la dosis de 1 y 2%, el mayor efecto fue causado por IBG. El hecho de que la adición de estos BG (FBG e IBG) haya disminuido la capacitancia elástica instantánea de la masa significa que incrementan la resistencia de las masas a ser deformadas, lo que se relaciona con el comportamiento elástico de estas masas, discutido previamente en el modo elástico.

Resultados similares fueron obtenidos por Ronda et al (2015) al estudiar la incorporación de BG de avena y cebada en masas libres de gluten. Esto se explica por la insolubilidad de dichos BG, lo que hace que requieran una mayor cantidad de agua para tener un comportamiento más similar al del control. Dado que se trabajó con la misma hidratación en todas las masas, la estructura elástica de las masas con dichos BGs resultaron ser más rígidas y pastosas. Esto permite concluir que el agua es un ingrediente clave para optimizar las formulaciones sin gluten, ya que tiene una influencia directa en las propiedades reológicas de las masas y porque interactúa con los hidrocoloides presentes en la formulación (HPMC y BG). Dicho comportamiento también se le puede atribuir a los segmentos de celulosa de los BG, que pueden contribuir activamente en la rigidez de dichas moléculas en disolución (Lazaridou et al, 2007).

Los resultados obtenidos para la capacitancia elástica retardada (J_1) siguen una tendencia similar a los comentados anteriormente. En este caso los valores determinados para SBG fueron superiores que el control, mostrando diferencias significativas con respecto a éste, lo que permite concluir que la adición de dicho BG afecta el comportamiento de la masa, pero la dosis agregada no tiene influencia sobre este parámetro. Para los otros BG estudiados (FBG e IBG) se observó que no existen diferencias significativas entre las dosis mínimas y el control. En ambos casos se determinó una tendencia lineal y una relación inversa entre la dosis añadida y la capacitancia elástica retardada determinada. Estos BGs se comportan de una forma similar en lo que a este parámetro se refiere, ya que para cada dosis, al comparar los valores determinados con IBG y FBG, no se determinaron diferencias significativas. En estos casos, a diferencia de lo observado con SBG, la dosis utilizada sí

influye en el valor de J_1 determinado para la masa, y a medida que ésta aumenta también aumenta la diferencia con respecto al control.

El tiempo de retardo (λ_1) se vio aumentado en todos los casos, excepto uno, debido a que los BGs funcionan como hidrocoloides, y su adición retrasa la respuesta elástica de las masas. Tiempos de retardo mayores indican una respuesta elástica más lenta (Ronda et al, 2013). La dosis máxima de SBG mostró un comportamiento anormal, ya que fue el único que dio un valor menor al del control. Sin embargo, aunque los resultados hayan sido superiores al control, ninguno de ellos fue significativamente diferente. Ronda et al (2013) y Lazaridou et al (2007) obtuvieron resultados similares en sus estudios, en el que determinaron que los BG fueron los hidrocoloides que afectaron en menor medida el tiempo de retardo con respecto a la referencia.

En cuanto a la viscosidad en estado estacionario (μ_0) se observó un comportamiento diferente entre el BG soluble y los BGs insolubles. Los resultados obtenidos para SBG no muestran diferencias significativas respecto al control, y la dosis utilizada no representó cambios en este parámetro. Sin embargo, en el caso de FBG e IBG se puede ver claramente diferencias significativas con respecto al control y el efecto que la dosis tiene en este parámetro. La dosis aumenta exponencialmente la viscosidad en estado estacionario registrada para las masas, y el mayor efecto se determinó para las masas con IBG. La dosis máxima estudiada para FBG registró un valor que es un 331,45% superior al control, mientras que el valor registrado para la dosis máxima de IBG fue un 384,91% superior. La viscosidad en estado estacionario fue el único parámetro que se determinó en este ensayo que aumenta con la adición de BG. Lazaridou et al (2007) llegaron a resultados similares en su trabajo. Esto es debido a que la viscosidad en estado estacionario aumenta con la fuerza de la masa, lo que se explica con el efecto hidrocoloide que tienen los BG.

La capacitancia elástica máxima mostró un comportamiento diferente para el BG soluble y los BGs insolubles. En el caso de SBG, se determinaron valores mayores que los obtenidos para el control, y no mostraron diferencias significativas al variar la dosis. En el caso de FBG e IBG se obtuvieron valores menores que el control, y se observa una tendencia a disminuir la capacitancia elástica máxima a medida que aumenta la dosis de BG, por lo que el valor menor se determinó para la dosis máxima en ambos casos.

En el ensayo de recuperación (recovery) se registra la recuperación de la masa una vez se elimina la tensión que causa la deformación elástica. Los materiales elásticos se recuperan totalmente, mientras que los viscosos no se recuperan, y los viscoelásticos tienen una

recuperación parcial. Las masas mostraron diferentes porcentajes de recuperación. El control mostró un porcentaje de recuperación del 47,4%, y se determinó que 7 de las 9 mediciones realizadas con BG no mostraron diferencia significativa respecto a este valor, por lo que se puede concluir que este parámetro no se altera con la adición de BG. Los valores registrados diferentes fueron para FBG en la dosis máxima, que registró la menor recuperación (33,1%) e IBG también en la dosis máxima, que registró la mayor recuperación (59,9%). Estos valores muestran el comportamiento viscoelástico de las masas, ya que oscilan alrededor del 50%.

4.2. Propiedades de los panes

4.2.1. Volumen específico y pérdida de peso de los panes

La Tabla 4 resume los resultados obtenidos para el volumen y la pérdida de peso de los panes estudiados. Los panes aditivados con BG experimentaron un incremento significativo ($p < 0,05$) de su volumen con respecto al pan control. El menor volumen se determinó precisamente para el pan mencionado, lo que permite interpretar que la adición de BGs, como hidrocoloides que son, favorecen el desarrollo de la masa y la retención de gas en el pan (Rosell et al, 2001) debido a un incremento en la viscosidad de la masa (Delcour et al, 1991). Sin embargo, en el estudio realizado por Pastuszka et al. (2012) sobre la adición de BG en la elaboración de panes sin gluten, determinaron que la adición de BG en dosis bajas (0,5% y 1% respecto a la harina) no tenía un efecto significativo sobre el volumen alcanzado por el pan, con respecto al control. La diferencia con este estudio puede deberse a que Pastuszka y su equipo utilizaron BGs derivados de avena, por lo que su comportamiento puede ser diferente que el de los (1-3)(1-6)- β -glucanos.

En el caso de los BG de levadura (SBG e IBG) se observa en su volumen específico una tendencia a disminuir a medida que la dosis aumenta. Esto puede deberse a que las dosis elevadas también tienen la mayor hidratación, para lograr en los panes una consistencia constante, lo cual puede repercutir en una disminución del volumen del pan. Resultados similares fueron determinados por Lazaridou et al (2007), en su estudio sobre la adición de diferentes tipos de hidrocoloides (incluido un BG) en masas y panes sin gluten. Determinaron que la adición de hasta un 1% de los hidrocoloides repercutía en un aumento en el volumen de los panes con respecto al control, y al trabajar con un porcentaje mayor, el volumen disminuía. Por su parte, Kim et al. (2011) han determinado que los bizcochos

con dosis de 3g/100g de BG muestran una disminución en su volumen respecto al control, mientras que no observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el control y los bizcochos en los que reemplazaron 1g de BG proveniente del hongo *Lentinus edodes* por cada 100g de harina. La diferencia de este estudio con el presente trabajo es que Kim y su equipo reemplazaron una cantidad de harina con la dosis agregada de BG, por lo que el porcentaje de harina varió en cada formulación, mientras que en éste estudio el porcentaje de harina fue constante, y el BG únicamente fue incorporado a dicha base. Esta diferencia puede llegar a ser importante para explicar las diferencias entre ambos estudios.

Los resultados obtenidos para el volumen específico alcanzado por los panes con SBG muestran la tendencia a disminuir a medida que la dosis aumenta. Los valores determinados para las dosis menores no muestran diferencias significativas con respecto al control, la diferencia se observa al llegar a la dosis del 2%. El otro BG de levadura (IBG) muestra la misma tendencia, por lo que el menor volumen específico registrado para este BG es para la dosis máxima. El caso de FBG es diferente, su comportamiento no sigue una tendencia clara, ya que el volumen específico máximo se registró para la dosis mínima, el valor mínimo se obtuvo con la dosis intermedia, y con la dosis máxima se obtuvo un valor intermedio.

En cuanto a la pérdida de peso sufrida por los panes durante el horneado, se determinaron resultados diferentes para cada BG estudiado. En el caso del SBG, sus resultados fueron los más similares al control, sin embargo solo la dosis máxima mostró no tener una diferencia significativa respecto al control ($p < 0,05$). Los panes elaborados con IBG muestran una tendencia de aumentar la pérdida de peso sufrida en la elaboración, en función del aumento de la dosis utilizada, llegando a ser hasta un 14,28% mayor para la dosis máxima, en comparación al control. En el caso de los panes en los que se utilizó FBG, se determinaron pérdidas de pesos bastante mayores que la registrada para el control, desde 13,15% mayor para la de menor pérdida, hasta 22,81% mayor en la formulación que registró una mayor pérdida. Los valores determinados para FBG en las dosis menores no presentaron diferencias significativas entre sí.

Tabla 4. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para el volumen específico y la pérdida de peso, correspondientes a panes sin gluten elaborados con BG.

Tipo	Dosis (%)	Volumen Específico (mL/g)	Pérdida de peso (%)
Control	0	3,336	16,57
SBG	0,5	3,830	17,31
SBG	1	3,823	17,80
SBG	2	3,575	16,22
FBG	0,5	4,430	19,29
FBG	1	3,883	19,08
FBG	2	4,078	21,46
IBG	0,5	3,895	18,42
IBG	1	3,768	18,74
IBG	2	3,680	19,33
Error Estándar		0,046	0,27

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

4.1.1. Color

En lo que se refiere a las propiedades del color de los panes, se registró diferencias significativas en las tres propiedades (L^* , C , h) de los panes con BG con respecto al control. Para los tres tipos de BG se determinó que la dosis mínima es la que causó una mayor diferencia en la luminosidad, seguido por la dosis máxima y por último la dosis intermedia. La diferencia máxima registrada se le atribuye a FBG al 0,5%. Lazaridou et al (2007) determinaron también que los BG presentaron la mayor luminosidad de los hidrocoloides que estudiaron, siendo mayor que el pan control. Esto se debe a que la presencia de un ingrediente adicional respecto al control, en este caso los BGs, disminuye la razón de reacciones de Maillard (con respecto al control), dando como resultado una corteza con una mayor luminosidad (Pérez-Quirce et al, 2014). En cuanto a la saturación, se determinó que el control registró el menor valor, mientras que en los BG insolubles (IBG y FBG) se observó que la mayor diferencia fue debida a la dosis del 1%. En el caso de SBG se consiguió la mayor diferencia para la dosis menor. El tono (h) se ve afectado por la adición de BG en menor medida que los parámetros mencionados anteriormente. En este caso se registraron 3 dosis que no muestran diferencias significativas respecto al control, las dos dosis menores de FBG y la dosis máxima de SBG.

Para la miga, en el parámetro de luminosidad (L^*), se determinó que únicamente la dosis máxima de SBG muestra un valor mayor que el control. De los demás valores con una luminosidad menor, destacan FBG e IBG al 2%, que registraron el menor valor. Kittisuban et al (2014) determinaron un comportamiento similar en su estudio, reportaron que los valores de L^* para la miga disminuyen con el aumento de la dosis de β -glucanos, lo cual coincide en este estudio para FBG e IBG, los BG insolubles. El color de la miga generalmente es similar al color de los ingredientes utilizados debido a que no sufre las reacciones de caramelización que sufre la corteza (Sabanis et al, 2009), y dado que los BGs tienen color más oscuro que el de la harina, es de esperar que su luminosidad fuera menor a la del control. La saturación de la miga no mostró una tendencia clara derivada de la adición de BGs, cada BG se comportó de manera diferente y no se observó una dependencia de la dosis trabajada. Por otra parte, los resultados para el tono de FBG e IBG muestran un pico para la dosis del 1%, estando todos los resultados determinados para dichos BGs por debajo del valor del control. Sin embargo, los resultados obtenidos con SBG muestran una correlación directa entre el tono registrado y la dosis estudiada, siendo el valor obtenido para la dosis mínima menor al control, y para la dosis media y máxima mayor al control (aunque cabe mencionar que no existen diferencias significativas entre 1%, 2% y el control).

4.1.2. Textura de la miga de los panes

Por medio del ensayo TPA, comentado en el apartado 3. Materiales y métodos, se realizaron las mediciones de las propiedades texturales de los panes. El efecto que el tipo de BG y la dosis utilizada tienen sobre las propiedades texturales de los panes se muestra en la Tabla 5 y la figura 3.

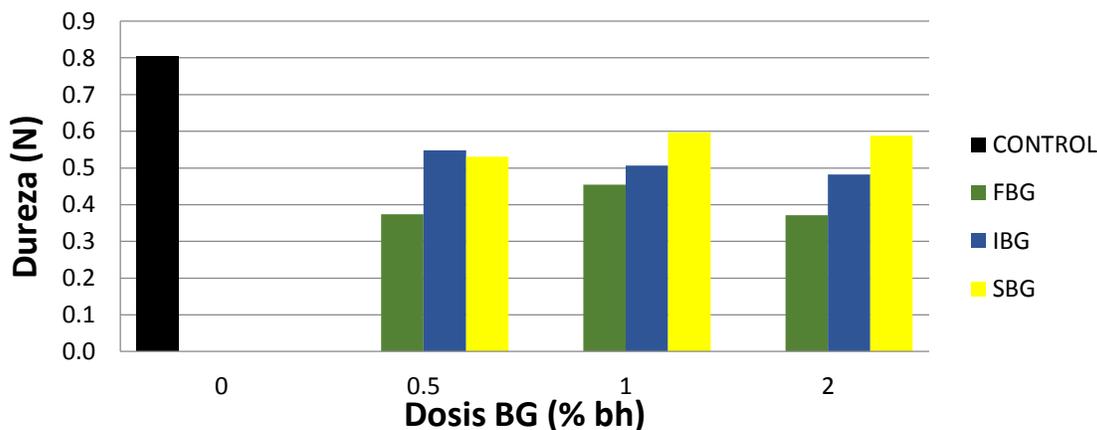


Figura 3. Evolución de la dureza en función del tipo y dosis de BG

La adición de BGs disminuye la dureza de los panes. El análisis estadístico muestra que no hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las durezas determinadas para los panes realizados con el mismo BG en las diferentes dosis, por lo que se puede concluir que la adición de BG sí modifica la dureza en el pan, sin embargo la cantidad añadida no es determinante en este factor.

La mayor dureza de la miga correspondió al pan control, que llega a ser hasta un 51,45% mayor que la dureza determinada en panes con SBG, 66.60% mayor respecto a los panes con IBG y hasta 116,52% respecto al FBG (valores respecto a los panes más blandos determinados de cada BG estudiado). Esto se relaciona también con volumen, ya que el mayor volumen de los panes adicionados con BG supone un mayor desarrollo de las piezas, un mayor volumen de aire ocluido en su interior y, con ello, una menor dureza de la miga. Sin embargo, la miga más blanda fue observada en los panes en los que se utilizó el BG de hongo (FBG) en su formulación. Las tres dosis estudiadas generaron migas más blandas que la correspondiente a la miga control, lo que está en concordancia con alto volumen específico de estos panes, comentado anteriormente.

Estos resultados siguen la misma tendencia que la pérdida de peso, ya que mientras mayor es la pérdida de peso que sufre, menor es la dureza del pan. Dicho comportamiento se observó para los panes a los que se adicionó IBG y FBG, no así con las formulaciones de SBG. Para SBG se puede explicar que, por ser soluble, interacciona mejor con el agua y retiene una cantidad de agua equivalente al control, mientras que los insolubles refuerzan la matriz almidón-proteína, permiten una mayor expansión de la pieza y la eliminación de agua se ve favorecida durante el horneado.

Por otra parte, otros estudios han reportado resultados contrarios. Kim et al (2011) en su estudio de integración de BGs del hongo *Lentinus edodes* determinó un aumento en la dureza de los panes a medida que la dosis utilizada de BGs aumenta. La diferencia en los resultados puede deberse a que en el presente estudio se mantuvo fija la cantidad de harina utilizada, mientras que Kim et al reemplazaron una parte de la harina por los BGs de cada dosis. Kittisuban et al (2014) también determinaron en su estudio que la dureza de la miga se incrementa a medida que la concentración de BG, y lo atribuyen a una mayor capacidad de ligar agua de los BG cuando se calientan. Sin embargo, en este estudio trabajaron con un mismo porcentaje de agua en todas las formulaciones, mientras que el presente estudio se realizó con humedad adaptada.

Tabla 5. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para las propiedades texturales de la miga del pan sin gluten elaborado con la adición de BG, a día 0.

Tipo	Dosis (%)	Dureza (N)		Elasticidad		Cohesividad		Masticabilidad (N)		Resiliencia	
Control	0	0,804	d	0,826	c	0,5784	a	0,412	d	0,3428	d, e
SBG	0,5	0,531	b, c	0,823	b, c	0,5863	a, b	0,258	b, c	0,3423	c, d
SBG	1	0,597	c	0,813	b, c	0,5790	a, b	0,282	c	0,3415	b, c
SBG	2	0,588	c	0,810	b, c	0,5980	b	0,285	c	0,3588	e
FBG	0,5	0,374	a	0,762	a	0,5853	a, b	0,167	a	0,3135	a, b
FBG	1	0,455	a, b	0,781	a, b	0,5748	a	0,204	a, b, c	0,3193	a, b
FBG	2	0,371	a	0,840	c	0,5773	a	0,181	a, b	0,3075	a
IBG	0,5	0,549	b, c	0,840	c	0,5770	a	0,266	b, c	0,3130	a
IBG	1	0,507	b, c	0,835	c	0,5830	a, b	0,246	a, c	0,3250	a, b
IBG	2	0,483	a, b, c	0,786	a, b	0,5785	a, b	0,220	a, b, c	0,3275	a, b
Error Estándar			0,043	0,015	0,0070			0,031		0,0099	

*Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Los resultados muestran una relación inversa entre la dureza de la miga y el volumen específico de los panes. Esto se debe a que mientras menor es el volumen específico, más denso y más compacta es la estructura de la miga, lo que conlleva a una mayor dureza de la miga. El estudio realizado por Kittisuban et al (2014) sobre el efecto de la adición de BG provenientes de levadura sobre panes sin gluten reportó un comportamiento similar.

La masticabilidad se relaciona directamente con la dureza, ya que se calcula mediante el producto de dureza x cohesividad x elasticidad, por lo que los resultados obtenidos para este parámetro siguen la misma tendencia que los mencionados anteriormente. El valor máximo registrado fue en el control, por lo que se concluye que la adición de BG disminuye este parámetro. Cada BG se comporta de forma diferente: SBG aumentó su masticabilidad a medida que aumentó la dosis estudiada, mientras que IBG disminuyó su masticabilidad a medida que la dosis aumentó. El comportamiento de FBG muestra un pico de masticabilidad para la dosis del 1%.

La elasticidad es una propiedad que se ve alterada por la presencia de BGs. En el caso de los BGs de levadura, se observó que la elasticidad disminuye a medida que la dosis aumenta, aunque para SBG dicha disminución fue muy pequeña y los valores no mostraron diferencias significativas. Lazaridou y su equipo (2007) indican que la adición de hidrocoloides en panes libres de gluten generalmente reduce su elasticidad. FBG por otro lado, muestra un comportamiento opuesto, su elasticidad muestra un incremento a medida que aumenta la dosis de BG en la masa.

La resiliencia disminuyó con la adición de BGs, a excepción de la dosis máxima de SBG, que aunque mostró un valor mayor al registrado para el control (aun así no existen diferencias significativas entre ellos). Los resultados obtenidos para los BGs insolubles mostraron resultados similares, considerablemente menores al control. Esto significa que estos panes tienen una menor capacidad de recuperación instantánea que la que control. Los valores más similares al control fueron los registrados para SBG, ya que tanto la dosis máxima como la mínima no mostraron diferencias significativas con respecto a éste.

La cohesividad es un parámetro que no se ve alterado por la adición de BGs, ya que no se determinaron diferencias significativas en ningún caso respecto al control ($p > 0,4723$).

4.1.3. Vida útil de los panes

La dureza de los panes se vio aumentada con el paso del tiempo. En el día 1, es decir 24±2h de su panificación, se observó un aumento en la dureza de todos los panes con respecto a lo reportado el día 0, especialmente el control que aumentó su dureza en un 156%. La presencia de BG en los panes disminuyó la dureza alcanzada después de 1 día de envejecimiento, ya que todos los panes con BG reportaron valores menores al control. Sin embargo, la diferencia entre la dureza registrada para los panes con BG y el control fue menor en el día 1 que la registrada en el día 0. La dosis de BG presente en los panes no tuvo un efecto significativo sobre este parámetro. Únicamente la prueba realizada con SBG al 2% fue diferente al control. Resultados similares han sido reportados en estudios con BG, en los que la presencia de BGs en los panes ha representado una disminución en la dureza luego de 24 horas de almacenamiento (Lazaridou et al, 2007; Skendi et al, 2010).

En el estudio del incremento de la dureza del pan tras siete días de almacenamiento, que puede considerarse como un periodo de almacenamiento largo, no se determinó una diferencia significativa con los resultados para los diferentes tipos de BG y las tres dosis trabajadas. Los resultados mostraron durezas mayores que las registradas el día 1. Para los panes con BG derivados de levadura (SBG e IBG) se registró que la dosis media (1%) causa la mayor disminución del endurecimiento de los panes, y la dosis máxima causa un mayor endurecimiento. Skendi et al. (2010) llegó a un resultado similar en su estudio, concluyendo que la dureza de panes con BG de cebada disminuía hasta un mínimo y posteriormente aumentaba. El BG derivado de hongo (FBG), por otro lado, muestra una correlación directa entre dosis añadida y dureza registrada, siendo la dosis máxima la más similar al control.

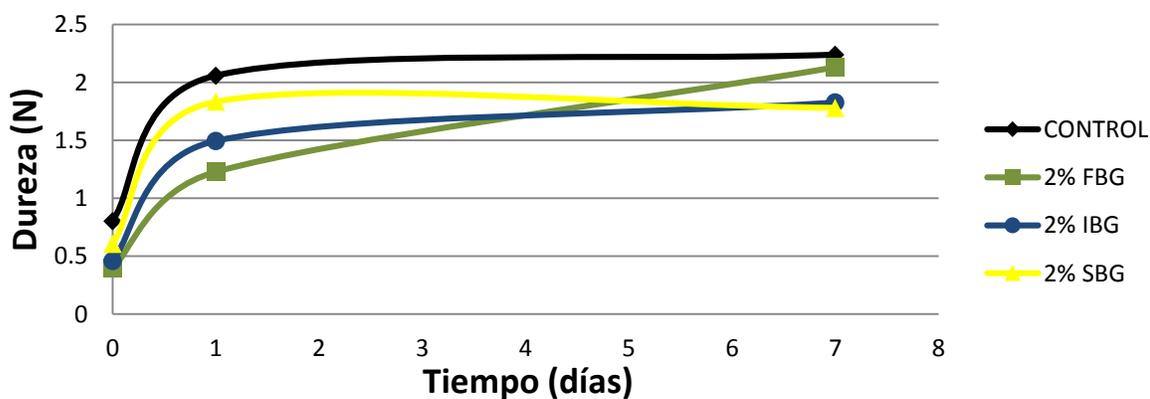


Figura 4. Evolución de la dureza en función del tiempo de almacenamiento y tipo de BG

5. CONCLUSIONES

La incorporación de (1-3)(1-6)- β -glucanos en formulaciones de panes sin gluten tiene un efecto nutricional positivo. Sin embargo, este estudio demuestra que varias propiedades tanto tecnológicas como texturales se ven alteradas por dicha inclusión. La consistencia de la masa se ve afectada por la adición de BGs, especialmente influenciado por su pureza y solubilidad. Optimizar la dosis de agua en las formulaciones para buscar una consistencia constante compensa en parte las modificaciones causadas por la solubilidad de los BGs, sin embargo la pureza del BG juega un papel importante, y mientras menor es el nivel de pureza, mayores son los efectos negativos sobre la calidad del pan. Se determinó que el desarrollo de los panes se ve influido principalmente por la pureza del BG, mientras la insolubilidad del BG repercute negativamente en la homogeneidad de la corteza y la miga de los panes.

Se ha observado que SBG es el que tiene un menor impacto respecto al control, seguido por FBG y finalmente IBG, que es el que altera en mayor medida el comportamiento de las masas y los panes. En el caso de IBG, su baja pureza (79,25%) y su insolubilidad representaron modificaciones importantes en el comportamiento de sus masas, ya que para alcanzar las dosis objetivos se debió agregar una mayor cantidad, que también acarreó una mayor cantidad de impurezas que pueden afectar negativamente la calidad del pan. Por esta razón, sería de gran interés continuar esta investigación utilizando un producto de mayor pureza, y analizar otros BGs derivados de hongos, ya que en este estudio se contó únicamente con uno.

Para panificación se recomienda trabajar con SBG, ya que las tres dosis estudiadas mostraron un comportamiento apropiado, y muestran características mejores a las del control. No es recomendable recurrir a dosis altas en la integración de BGs insolubles a panificación, ya que sus características se ven muy alteradas.

Se puede concluir que es posible integrar BGs en panes sin gluten, de buena calidad y con propiedades similares al control, obteniendo panes mejorados nutricionalmente sin perjudicar su calidad.

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo Fin de Master ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Proyecto AGL2012-35088). El autor de este trabajo agradece el apoyo, asesoría y guía de Dña. Sandra Pérez Quirce durante todo el proyecto.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Angioloni, A. & Collar, C. (2011). Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. *LWT e Food Science and Technology*, 44(3), 747e758.
2. Balint, S.; Farkas, V. & Bauer, S. (1976). Biosynthesis of β -glucans catalyzed by a particulate enzyme preparation from yeast. *FEBS letters* 64(1), 44 – 47.
3. Cavallero, A.; Empilli, S.; Brighenti, F. & Stanca, A. (2002). High (1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 4)- β -glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response. *Journal of Cereal Science* 36(1), 59-66
4. Chen, J. & Serviour, R. (2007). Medical importance of fungal β -(1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 6)-glucans. *British Mycological Society*, 635-652.
5. Delcour, J.; Vanhamel, S. & Hoseney, R. (1991). Physicochemical and functional properties of rye nonstarch polysaccharides. II. Impact of a fraction containing water-soluble pentosans and proteins on gluten–starch loaf volumes. *Cereal Chemistry*, 68, 72–76.
6. Demirkesen, I.; Mert, B.; Sumnu, G. & Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303.
7. Demleitner, S.; Kraus, J. & Franz, G. (1992). Synthesis and antitumour activity of sulfoalkyl derivatives of curdlan and lichenan.
8. Dobraszczyk, B. & Morgenstern, M. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, vol. 38, pp. 229-245.
9. Edwards, N.; Mulvaney, S.; Scanlon, M. & Dexter, J. (2003). Role of gluten and its components in determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal Chemistry*, 80, 755–763.
10. 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.
11. Gujral, H.; Guardiola, I.; Carbonell, J. & Rosell, C. M. 2003. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3814–3818.

12. Hager, A.; Ryam, L.; Schwab, C.; Gänzle, M.; O'Doherty, J. & Arendt, E. (2011). Influence of the soluble fibres inulin and oat β -glucan on quality of dough and bread. *European Food Research and Technology*. 232, 405 – 413
13. Heo, S.; Jeon, S. & Lee, S. (2014). Utilization of *Lentinus edodes* mushroom β -glucan to enhance the functional properties of gluten-free rice noodles. *Food Science and Technology* 55, 627 – 631.
14. International Association of Plant Bakers (AIBI). (2013). AIBI Bread Market Report 2012. Sitio web: <http://www.aibi.eu/wp-content/uploads/AIBI-Bread-Market-report-2012.pdf>
15. Izydorczyk, M. & Dexter, J. (2008). Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products—a Review. *Food Research International* 41(9), 850-868
16. Kim, J.; Lee, S.; Bae, I.; Park, H.; Lee, H. & Lee, S. (2011). (1 – 3)(1 – 6)- β -Glucan-enriched materials from *Lentinus edodes* mushroom as a high-fibre and low-calorie flow substitute for baked foods. *Journal of Science of Food and Agriculture* 91 (10), 1915 – 1919.
17. Kittisuban, P.; Ritthiruangdej, P. & Supphantharika, M. (2014). Optimization of hydroxypropylmethylcellulose, yeast β -glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten-free rice bread using response surface methodology. *Food Science and Technology* 57, 738 – 748.
18. Lazaridou, A. & Biliaderis, C. (2007). Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science* 46(2), 101-118
19. Lazaridou, A.; Duta, D.; Papageorgiou, M.; Belc, N. & Biliaderis, C. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79 (3), 1033-1047.
20. Liu, X.; Wang, Q.; Cui, S. & Liu, H. (2008). A new isolation method of β -D-glucans from spent yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Hydrocolloids* 22, 239 – 247.
21. 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.
22. Pastuszka, D.; Gambús, H.; Ziobro, R.; Buksa, K.; Sabat, R. & Augusty, G. (2012). Impact of oats β -glucans on properties of gluten-free bread. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 1, 972-979.
23. Pérez-Quirce, S.; Collar, C. & Ronda, F. (2014). Significance of healthy viscous dietary fibres on the performance of gluten-free rice-based formulated breads. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 1375e1382.

24. Rodríguez, E.; Sandoval, A. & Ayala, A. (2003). Hidrocoloides naturales de origen vegetal, investigaciones recientes y aplicaciones en la industria de alimentos. *Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento (TECNURA)* 13, 4-13.
25. Rodríguez, L. (2010). Enfermedad celíaca. *Servicio de Aparato Digestivo. Información Terapéutica del Sistema Nacional de Salud* 34 (2), 49-59.
26. Ronda, F.; Pérez-Quirce, S.; Angiolini, A. & Collar, C. (2013). Impact of viscous dietary fibres on the viscoelastic behaviour of gluten-free formulated rice doughs: A fundamental and empirical rheological approach. *Food Hydrocolloids* 32, 252-262.
27. Ronda, F.; Perez-Quirce, S.; Lazaridou, A. & Billiaderis, C. (2015). Effect of barley and oat β -glucan concentrates on gluten-free rice-based doughs and bread characteristics. *Food Hydrocolloids* 48, 197 – 207.
28. Rosell, C.; Rojas, J. & Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15. 75–81.
29. Sabanis, D.; Lebesi, D. & Tzia, C. (2009). Development of fibre-enriched gluten-free bread: a response surface methodology study. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60, 174 – 190.
30. Samuelsen, A.; Schrezenmeir, J. & Knutsen, H. (2014). Effects of orally administered yeast-derived beta-glucans: A review. *Molecular Nutrition & Food Research* 58 (1) 183 – 193.
31. Sivaramakrishnan, H.; Senge, B. & Chattopadhyay, P. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*, 62, 37–45.
32. Skendi, A.; Billaderis, C.; Papageorgiou, M. & Izydorczyk, M. (2010). Effects of two barley betaglucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry* 119: 1159 – 1167.
33. Skendi, A.; Biliaderis, C.; Lazaridou, A. & Izydorczyk, M. (2003). Structure and rheological properties of water soluble b-glucans from oat cultivars of *Avena sativa* and *Avena bysantina*. *Journal of Cereal Science*, 38, 15–31.
34. Vaikousi, H.; Biliaderis, C. & Izydorczyk, M. (2004). Solution flow behavior and gelling properties of water-soluble barley (1-3,1-4)- b-glucans varying in molecular size. *Journal of Cereal Science*, 39, 119–137.
35. Weipert, D. (1990). The benefits of basic rheometry in studying dough rheology. *Cereal Chemistry*, 67, 311–317.



ESTUDIO DEL ENRIQUECIMIENTO DE PANES SIN GLUTEN CON (1-3)(1-6)BETAGLUCANOS

ANEXO 1

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2014/15

Alumno: Antonio José Vela Corona

Tutora: Felicidad Ronda Balbás

Tutor: Pedro A. Caballero Calvo

Tutora externa: Sandra Pérez Quirce

A. TABLAS CON LAS MEDIAS Y GRUPOS HOMOGÉNEOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

Tabla 6. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para las propiedades del color, con sus respectivos errores estándar y radios del intervalo de confianza.

Elab.	Tipo	Dosis (%)	Corteza						Miga					
			L*	C*	h (grados)	L*	C*	h (grados)						
1	Control	0	58,2	a	61,26	a	31,10	c	75,27	e	94,43	d, e	7,77	c
2	SBG	0,5	62,61	d, e	67,72	e	33,53	d	72,03	b, c	96,34	f	6,60	a
3	SBG	1	58,96	a, b	65,13	d	32,90	d	71,29	b, c	93,59	c, d	7,93	c
4	SBG	2	61,34	c, d	63,23	b, c	30,48	c	76,67	e	92,47	b, c	8,30	c
5	FBG	0,5	63,66	e	67,35	e	29,86	c	74,45	d, e	92,65	c, d	5,59	a
6	FBG	1	60,24	b, c	68,42	e	31,25	c	69,59	a, b	93,86	c, d	6,76	b
7	FBG	2	61,93	d	62,97	b, c	25,46	b	67,63	a	95,44	e, f	5,60	a
8	IBG	0,5	60,51	c	61,68	a, b	25,94	b	70,96	b, c	90,30	b	7,35	b
9	IBG	1	58,46	a	65,29	d	25,51	b	72,67	c, d	92,01	b, c	7,82	c
10	IBG	2	60,27	b, c	64,09	c, d	22,61	a	67,61	a	85,68	a	7,48	b
Error Estándar			0,47		0,58		0,58		0,89		0,82		0,36	
Radio Intervalo Confianza			0,66		1.15		0,82		1,25		1,16		0,51	

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$). L*: Luminosidad, C*: Saturación o croma, h: Tono

B. Tabla 7. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para la dureza en el día 1 y el día 7.

Tipo	Dosis (%)	Dureza D1 (N)		Dureza D7 (N)	
Control	0	2,06	c	2,24	c
SBG	0,5	1,31	a, b	1,68	a, b, c
SBG	1	1,29	a, b	1,56	a, b
SBG	2	1,84	b, c	1,78	a, b, c
FBG	0,5	1,03	a	1,22	a
FBG	1	1,19	a	1,73	a, b, c
FBG	2	1,23	a	2,13	b, c
IBG	0,5	0,94	a	1,61	a, b, c
IBG	1	1,18	a	1,55	a, b
IBG	2	1,50	a, b	1,83	a, b, c
Error Estándar		0,20		0,24	

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

C. GRÁFICAS

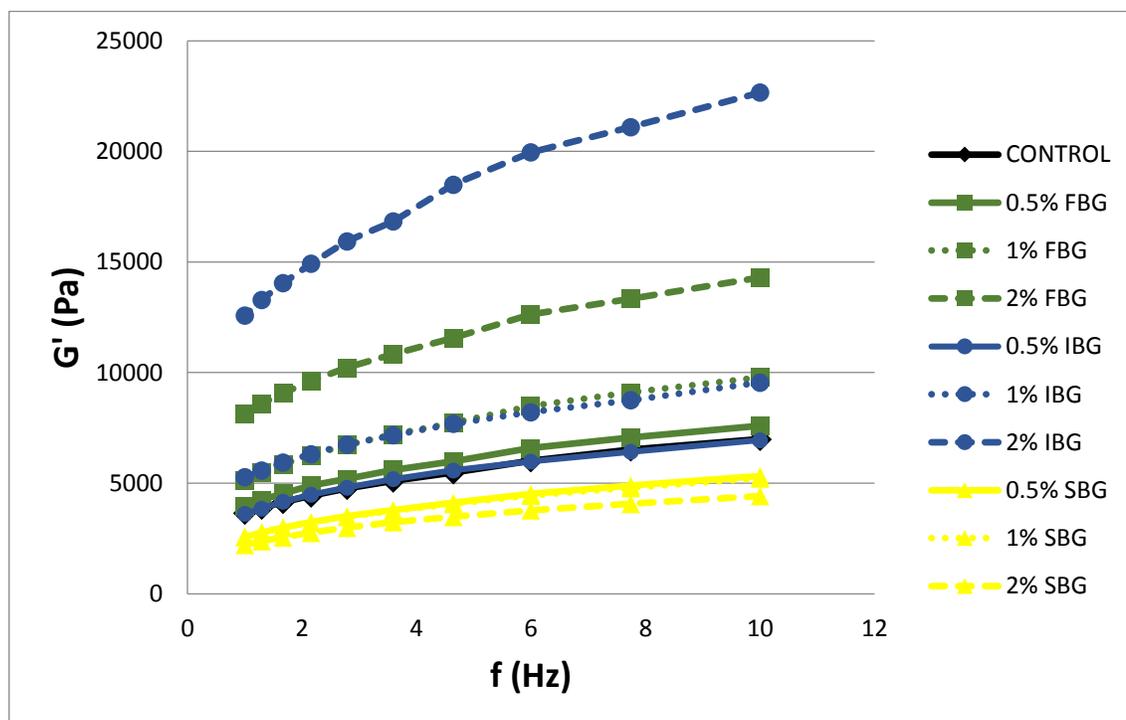


Figura 5. Evolución del módulo elástico en función de la frecuencia.

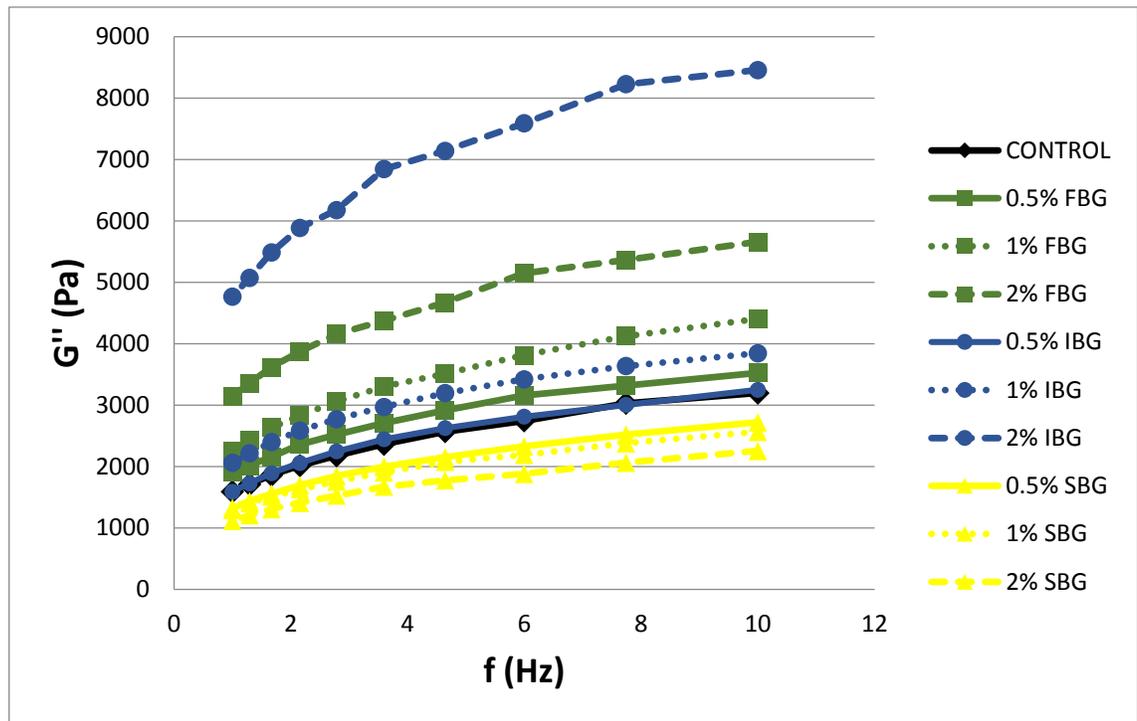


Figura 6. Evolución del módulo viscoso en función de la frecuencia.

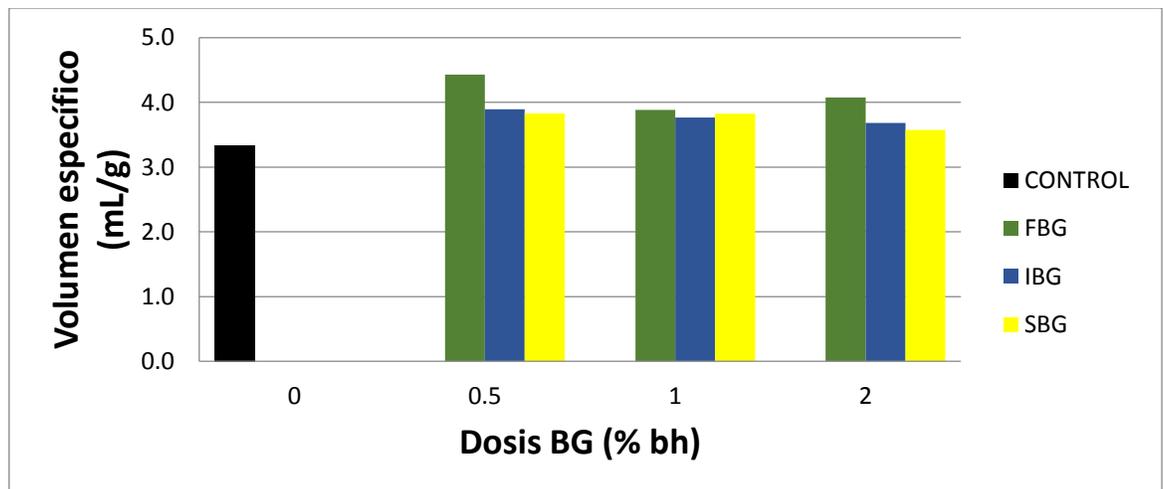
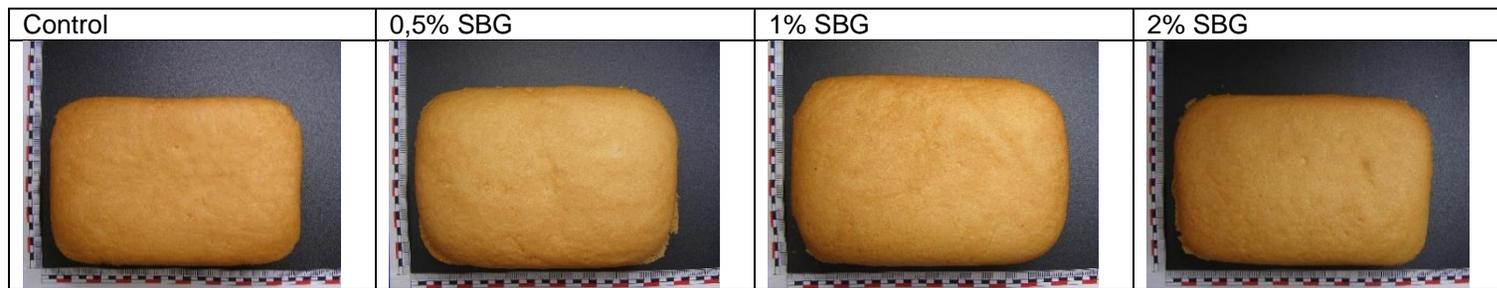
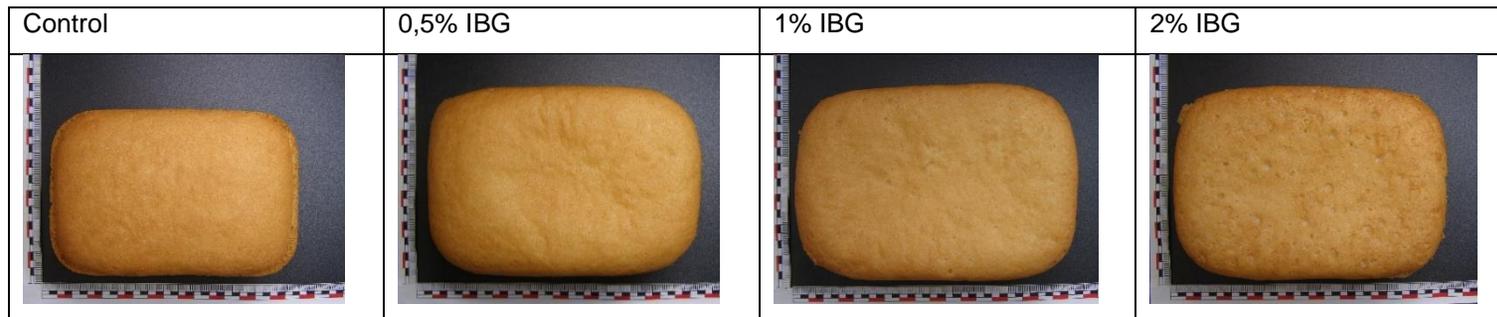
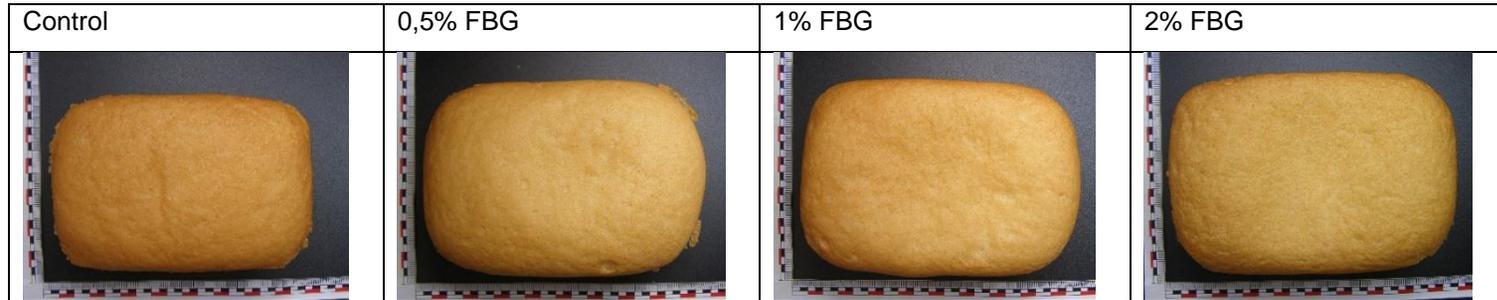


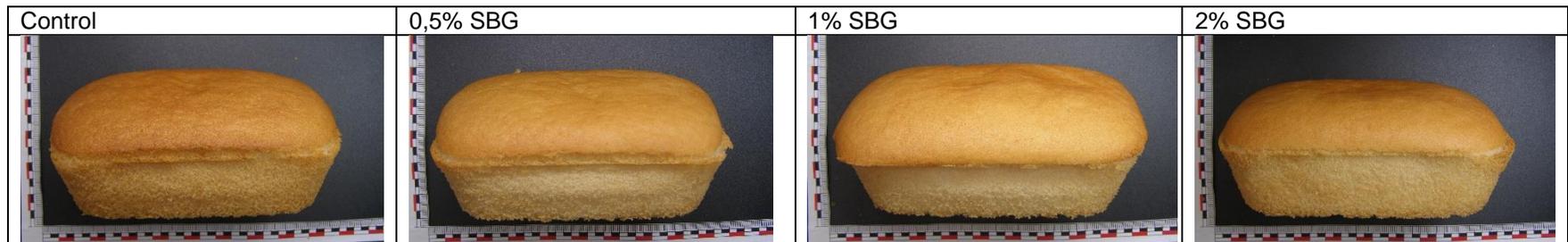
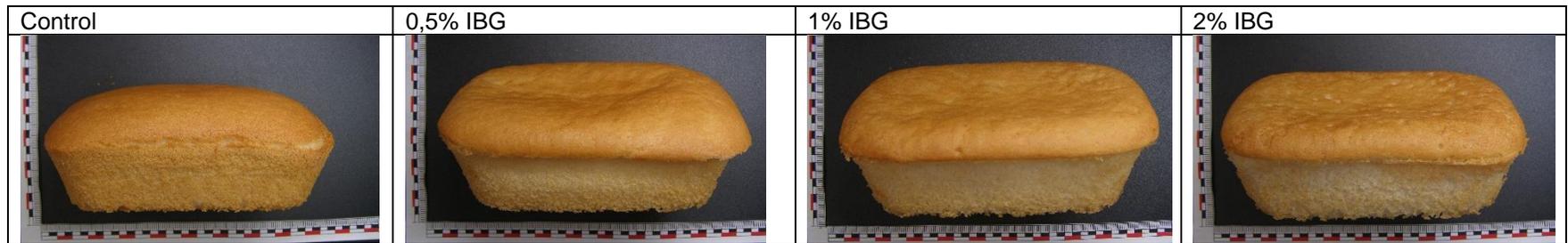
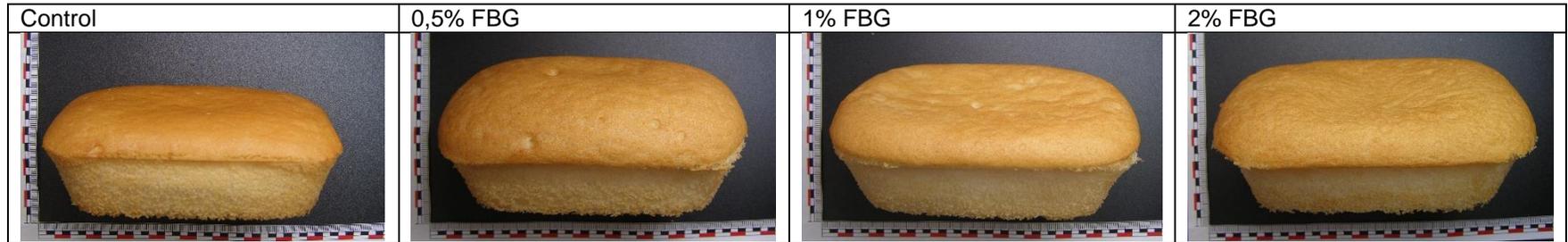
Figura 7. Evolución del volumen específico en función de la dosis utilizada.

D. FOTOGRAFÍAS DE LOS PANES

FOTOGRAFÍAS DEL VOLUMEN DE LOS PANES (VISTA SUPERIOR)



FOTOGRAFÍAS DEL VOLUMEN DE LOS PANES (VISTA LATERAL)



FOTOGRAFÍAS DE LA MIGA DE LOS PANES

