



ENRIQUECIMIENTO DE PANES SIN GLUTEN CON BETAGLUCANO DE AVENA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso 2012/13

Alumna: Ana Moraleja de la Iglesia

Tutora: Felicidad Ronda Balbás

Cotutor: Valentín Pando

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos

E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera

Universidad de Valladolid

RESUMEN

La enfermedad celíaca es uno de los trastornos genéticos más comunes y uno de los principales problemas de las personas que la padecen es encontrar alimentos de buena calidad nutricional y organoléptica. El pan es un alimento adecuado para la adición de ingredientes funcionales, como es el betaglucano de avena. Por lo tanto, se ha incorporado cuatro dosis de esta fibra en panes sin gluten (0%, 1.3%, 2.6% y 3,9%) y cuatro dosis de agua anidada a las dosis del betaglucano. La incorporación del betaglucano provocó una masa más elástica. En cuanto a las propiedades de calidad de los panes, la adición de dosis elevadas de betaglucano supuso una disminución del volumen específico de los panes, un incremento de la dureza y unos panes más oscuros. También, se ha observado un aumento de la vida útil de los panes, debido principalmente al incremento de la dosis de agua. Los resultados muestran que el uso de una dosis de hasta 2,6% de betaglucano, además de cumplir con las recomendaciones de la EFSA en cuanto a ingestión de esta fibra, permite obtener unos panes de buena calidad.

Palabras clave: Sin gluten, betaglucano de avena, reología, calidad del pan

ABSTRACT

Celiac disease is one of the most common genetic disorders and one of the main problems of people who suffer from it is to find good nutritional and organoleptic quality food. Bread represents a suitable food product for the addition of functional ingredients such as oat betaglucan. Therefore, this fibre was incorporated into gluten-free bread with four doses (0%, 1.3%, 2.6% and 3.9%) and four water doses nested of betaglucan doses, and their effects on rheological properties of the dough and on bread quality were analyzed. Betaglucan incorporating causes more elastic dough. Regarding to the bread quality, the addition of high doses of betaglucan results a decrease of specific volume of breads, increased hardness and darker crust breads. Also, there has been an increase in the shelf-life, mainly due to increased water dose. The results show that the use of a dose up to 2.6% beta-glucan, in addition to complying with the recommendations of the EFSA regarding this fiber intake, can obtain good quality breads.

Keywords: Gluten-free, oat betaglucan, dough rheology, bread quality

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad celíaca es una enteropatía provocada por la ingestión de gluten que afecta al sistema inmune de personas genéticamente susceptibles. Esta enfermedad es uno de los trastornos genéticos humanos más comunes, con una incidencia del 1-2% en todo el mundo, y que además está aumentando (Cabrera-Chávez y Calderón de la Barca, 2010). A pesar de los avances en la comprensión de la patogénesis de la enfermedad celíaca y en el desarrollo potencial de nuevas terapias, en la actualidad, el único tratamiento seguro y eficaz para los enfermos celíacos es evitar la ingestión de alimentos que contengan gluten. Uno de los principales problemas de los enfermos celíacos es encontrar alimentos sin gluten de buena calidad. A pesar de la amplia variedad de alimentos a base de cereal, sin gluten, existentes en el mercado, éstos son generalmente pobres en cuanto a calidad fisicoquímica y sensorial, además de tener falta de fibra, de vitaminas y de minerales, lo que se traduce en una dieta bastante desequilibrada de las personas que sufren la enfermedad celíaca (Thomson, 2009). Es por lo tanto necesario mejorar los atributos tecnológicos y nutricionales de estos productos (Schoenlechner et al., 2010; Gambús et al., 2007). Entre las fibras de especial interés por sus implicaciones para la salud reconocidas por la EFSA (Agencia Europea de Seguridad Alimentaria) se encuentran los β -glucanos presentes fundamentalmente en cereales como la avena o la cebada.

La avena (*Avena Sativa. L*) es un cereal importante en los países desarrollados que se utiliza tanto para la alimentación humana como para el ganado (Tiwari y Cummins, 2009). En España es considerada como un cereal de menor importancia en términos de grano producido anualmente o en cuanto a superficie de producción. Tradicionalmente se ha considerado como alimento para el ganado (Brennan y Cleary, 2005). Sin embargo, en los últimos años la avena está siendo una de las fuentes principales de interés por los beneficios asociados a su contenido en β -glucanos (Wood, 2007). Según el Reglamento (CE) nº 41/2009, las personas con intolerancia al gluten pueden incluir en su dieta alimentos que contengan avena. Ésta debe ser producida, preparada o tratada de forma especial para evitar contaminación por el trigo, el centeno o la cebada, o sus variedades híbridas y su contenido de gluten no debe sobrepasar los 20 mg/kg en el producto final (Reglamento (CE) Nº 41/2009).

Los β -glucanos se encuentran principalmente en plantas, hongos y levaduras como componentes estructurales de la pared celular o como polisacáridos de reserva. Son polisacáridos no almidonosos y no digeribles que provienen de la capa de sub-aleurona y del endospermo de las semillas de los cereales, como la avena, el centeno, la cebada y el trigo. Los β -glucanos de avena están más concentrados en la capa de sub-aleurona que en la del endospermo, a diferencia de los de cebada y centeno, que poseen una distribución más

uniforme (Cui et al, 2011). Los β -glucanos (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4) o β -glucanos, son homopolisacáridos lineales, formados por β -D-glucopiranosas. Más del 90% de los residuos de β -D-glucopiranosas en los β -glucanos están dispuestos en bloques consecutivos de dos o tres unidades unidas en posición (1 \rightarrow 4) separadas por un único enlace (1 \rightarrow 3), que forman los dos componentes básicos de los β -glucanos de los cereales: una unidad de celotriosil y una unidad de celotetraosil. El 10% restante de la cadena polimérica está formada principalmente por secuencias celulósicas compuestas por 5-14 residuos de β -D-glucopiranosas (Cui et al, 2011). La cantidad de β -glucanos varía en función del tipo de cereal, siendo de un 3,2-6,8% (p/p) en el caso de la avena (Cui et al, 2011). Sin embargo, esta cantidad depende de los factores pre y post cosecha, incluyendo el tipo de cultivar y los factores ambientales. (Tiwari y Cummins, 2008).

En los últimos años, el desarrollo de nuevos alimentos funcionales ha sido una prioridad en la ciencia de los alimentos y en las industrias alimentarias debido al incremento de la preocupación por la salud de los consumidores (Tiwari y Cummins, 2009). La fibra dietética constituye una parte importante de una dieta saludable y los β -glucanos son una de las fracciones esenciales de la fibra dietética soluble, que han atraído mucho la atención por sus propiedades funcionales (Brennan and Cleary, 2005; Wood, 2007) y beneficios fisiológicos (Cui et al, 2011). La importancia de los β -glucanos, más concretamente los extraídos tanto de la avena como de la cebada, viene dada por sus efectos beneficiosos para la salud, como corrobora la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), autoridad que ha aprobado declaraciones saludables para alimentos relacionadas con los β -glucanos de avena o cebada que indican que la ingesta de 3 g/día reducen el nivel de colesterol LDL en sangre, y que una ingesta de 4 g de β -glucanos por cada 30 g de carbohidratos disponibles en el alimento reducen la respuesta glicémica (EFSA, 2011^{a,b}). Los productos elaborados con avena, reducen la respuesta glucémica e insulínica, en función de la dosis de β -glucano y la viscosidad que aportan (Wood, 2007; Tosh et al, 2008; Kim y White, 2012; Flander et al, 2011). Muchos estudios demuestran también una disminución de los niveles de colesterol en sangre (Wood, 2007). Estudios clínicos y epidemiológicos han demostrado que la ingesta de β -glucano, ya sea procedente de avena o de cebada, ayuda a controlar las enfermedades cardiovasculares en seres humanos (Shimizu et al, 2008). En general, se puede decir que el empleo de avena en panes ha demostrado mejorar la calidad nutricional del producto y aportar beneficios para la salud (Flander et al 2007).

La tecnología de los panes sin gluten está basada principalmente en el uso de almidones de diversos orígenes botánicos, como el maíz, arroz, soja y trigo sarraceno. La introducción de suplementos nutricionales o dietéticos es difícil debido a su estructura frágil, pudiendo ser fácilmente sobrecargados (Korus et al, 2009). Estos panes tienen en general una baja calidad sensorial debido precisamente a la ausencia del gluten, principal responsable formador de la red viscoelástica que retiene el CO₂ que permite el desarrollo de la masa durante la fermentación y

el homeado. Actualmente se estudia el uso de nuevas materias primas que reemplacen el gluten para fabricar productos libres de gluten (Arendt et al, 2008). El grupo más comúnmente utilizado con este propósito son los hidrocoloides – polímeros hidrofílicos de origen vegetal, animal, microbiano o sintético con características viscoelásticas apropiadas para la masa (Pastuszka et al, 2012). Hasta la fecha, el enfoque principal para la elaboración de panes sin gluten ha sido la adición de polímeros estructurales tales como la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), para imitar las propiedades viscoelásticas del gluten (Ahlborn, 2005). Los β -glucanos son hidrocoloides con propiedades espesantes (Lazidarou et al, 2007), que podrían reemplazar o complementar la acción del HPMC, además de aumentar el valor nutricional de los panes sin gluten (Ronda et al, 2013). El enriquecimiento de panes sin gluten con β -glucanos –fibra dietética con demostrados beneficios fisiológicos- tiene especial interés para esta población vulnerable a algunas enfermedades asociadas, como la diabetes (Cronin y Shanahan, 1997).

El peso molecular del β -glucano se degrada parcialmente en la producción del pan, aunque esta reducción es menos pronunciada en el pan sin gluten, debido a las β -glucanasas presentes en la harina de trigo (Anderson et al, 2004). Teniendo en cuenta tanto el grado de degradación como los efectos tecnológicos del β -glucano de avena, se puede concluir que esta fibra funcional es muy adecuada para aumentar el valor nutricional de pan sin gluten, aunque en pan de trigo el enriquecimiento nutricional sea más limitado (Hager et al, 2011). Trabajos anteriores han demostrado la importancia de optimizar la dosis de agua en función de la cantidad de β -glucano adicionado a masas sin gluten (Lazaridou et al. 2007; Ronda et al. 2013)

Por todo esto, queda totalmente justificado este trabajo en el que se estudiará el enriquecimiento de panes sin gluten con β -glucanos de avena y se analizarán y discutirán las propiedades tanto de las masas como de los panes en función de las dosis de fibra y del contenido de agua aplicados en su elaboración.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo ha sido el aumento del valor nutricional de panes sin gluten, enriqueciéndolos con β -glucano de avena. Se ha estudiado el efecto de este enriquecimiento en la reología de las masas y en distintas propiedades de los panes. Para ello se han elaborado las masas y los panes y se han realizado tanto los ensayos de reología de las masas como las medidas instrumentales de los panes. Los resultados obtenidos se han analizado estadísticamente, para posteriormente comentarlos, discutirlos y obtener unas conclusiones finales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para la elaboración de las masas y de los panes, se emplearon los siguientes ingredientes: harina de arroz (12.5% humedad, 0.46% ceniza, 7.5% proteína, 0.49% grasa y 79.1% almidón, tamaño de partícula: 6% > 150 μm , 150 μm > 63.2% > 100 μm , 30.8% < 100 μm) suministrada por Herba Ricemills S.L.U (Sevilla, España), sal, azúcar y aceite de girasol provenientes del mercado local, HPMC suministrado por Dow Wolff Cellulosics (Midland, USA), levadura seca instantánea de Dosu Maya Mayacilik, A.S. (Ümraniye-Istanbul, Turquía) empleada únicamente en la elaboración de los panes, agua procedente de la red local y β -glucano de avena PromOat. El β -glucano de avena PromOat es una fracción del grano de avena integral molido, derivada del salvado, que se ha procesado mediante el empleo de enzimas y mediante separación física en procesos posteriores (datos facilitados por el fabricante). Es particularmente rica en fibra soluble saludable: β -glucano. PromOat, también contiene dextrinas (amilodextrinas) y glucoolisacáridos. La fibra insoluble, las proteínas y los aceites presentes en la fracción de salvado de avena original se han eliminado mediante centrifugación. (Composición: 33% fibra dietética soluble, β -glucano (Peso molecular: 1,85 millones de Daltons), 36-38% de fibra dietética total, 54-57% carbohidratos (dextrina), <4,5% proteína, 1-3% cenizas minerales, 0,5-1% grasa, suministrado con un contenido típico de humedad del 4-6%). El contenido de gluten de este β -glucano ha sido analizado por el laboratorio de Farmacia (acreditado por la ISO 17025) de la Universidad del País Vasco, a través de la técnica ELISA basada en el anticuerpo R5, obteniendo una concentración por debajo del límite de detección (<6,2 mg/kg de gluten). El β -glucano de avena PromOat ha sido suministrado por Biovelop AB (Kimstad, Suecia).

3.2. Formulación

Para la elaboración de las masas y de los panes, se emplearon las siguientes proporciones de ingredientes en base a un 100% de harina de arroz: 1,8% de sal, 5% de azúcar, 6% de aceite de girasol, 2% de HPMC, 3% levadura (empleada únicamente en la elaboración de los panes), y las proporciones de agua y β -glucano de avena, que se muestran en la Tabla 1, resultando un modelo de 16 elaboraciones.

Las dosis de agua ensayadas se establecieron mediante ensayos preliminares, y la experiencia alcanzada en trabajos previos (Ronda et al, 2013). Las dosis de β -glucano de avena comercial se fijaron atendiendo a las recomendaciones de la EFSA, que consideran necesaria la ingesta de 3 g de β -glucano al día (EFSA, 2011^{ab}) para conseguir efectos beneficiosos para la salud. Para una ingesta de pan diaria de 250 g y unas pérdidas en el horneado del 20% las recomendaciones de EFSA equivaldrían a una adición de 1,8% y 5,5% en base harina de β -

glucano de avena puro y producto comercial, respectivamente Las dosis de los niveles 2 y 3 (Tabla 1) cumplirían pues ampliamente con dichas recomendaciones (la dosis del nivel 2 sólo requeriría de una ingesta diaria de 175 g de pan y la dosis del nivel 3 de 115 g de pan)

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

Nivel β -glucano avena	% β -glucano avena	% Producto comercial *	% Agua			
			Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Nivel 0	0	0	78	85	92	99
Nivel 1	1.3	3,9	89	97	105	113
Nivel 2	2.6	7,9	100	109	118	127
Nivel 3	3.9	11,8	111	121	131	141

* La pureza del producto comercial de β -glucano es del 33%

3.3. Método

La elaboración de las masas y de los panes se llevó a cabo mezclando primero los ingredientes sólidos en una batidora Kitchen-aid profesional KPM5 (St.Joseph, Michigan, USA), empleando una cubeta y un brazo de varillas, a velocidad 2 durante 7 minutos, realizando una parada a los 2 minutos para remover los ingredientes asegurando su mezcla homogénea. Posteriormente, se siguió batiendo durante 8 minutos adicionales a velocidad 4, tras incorporar el agua junto con la levadura previamente hidratada en la misma, en el caso de las elaboraciones de los panes. En el caso de la elaboración de las masas para realizar la reología de las mismas, la levadura no se añadió. El agua empleada se llevó a la temperatura necesaria, siguiendo la siguiente fórmula: $T^a \text{ agua} = 57 - T^a \text{ harina} - T^a \text{ ambiente}$.

Para la elaboración de los panes, después del batido, se dispuso 200 g de la masa en moldes de aluminio de 430 cm³ de capacidad, introduciéndose en la cámara de fermentación, de la marca SALVA (Lezo, España), durante 50 minutos a 28°C y 80% de humedad. Posteriormente, se introdujeron en el horno eléctrico modular que funciona por conducción de calor, también de la marca SALVA (Lezo, España), durante 40 minutos a 190°C.

3.4. Caracterización de las masas – reología

Se ha estudiado la conducta reológica de las masas mediante un reómetro de esfuerzo controlado, RheoStress, (Thermo Haake, Karlsruhe, Alemania) y un baño de agua Phoenix II P1-C25P que controla la temperatura de análisis, la cual fue de 25°C para todos los ensayos. Todas las medidas se monitorizaron con el programa Rheowin Job Manager. Se ha utilizado una geometría de platos paralelos de 60 mm de diámetro de titanio (PP60 Ti), de superficie ranurada para evitar el deslizamiento de la masa, con un espacio entre platos de 3 mm. Una vez ajustado el espacio entre platos, el exceso de la muestra que sobresalía se retiró y para prevenir

la pérdida de humedad, la superficie expuesta al aire entre los dos platos fue cubierta con aceite de vaselina de la marca Panreac Química SA.

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 aplicó un barrido desde 0 Pa hasta 1000 Pa a una frecuencia constante de 1 Hz, precedido de un tiempo de reposo de 500 s, obteniéndose una zona viscoelástica lineal para todas las masas comprendido entre 1-8 Pa. A continuación, el barrido de frecuencias fue llevado a cabo desde 0,1 hasta 20 Hz, a un valor de esfuerzo localizado aproximadamente en el centro de la región viscoelástica lineal establecida previamente. Los datos del barrido de frecuencias se ajustaron a una ecuación potencial.

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

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 (*recovery*) se aplicó a la masa un esfuerzo constante de 1,5 Pa (valor incluido en la zona viscoelástica lineal de todas las masas), durante un periodo de 150 segundos, causando con esto una deformación progresiva. 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 entre el esfuerzo aplicado. Los datos del ensayo de deformación progresiva se ajustaron al modelo de Burgers de cuatro términos:

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

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 Burgers viene dado en este caso por la siguiente ecuación:

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

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.

3.5. Caracterización morfogeométrica de los panes

De cada batida se obtuvieron 4 panes. Dos de ellos se utilizaron para hacer las mediciones a día cero, descritas a continuación. De los otros dos se tomó el peso y se guardaron en bolsas herméticas de polietileno para su conservación en el frigorífico a 4°C. Estos panes se emplearon para evaluar el envejecimiento a partir de la medida de la textura, a día 1 y a día 7, como se comentará más adelante.

La pérdida de peso se midió transcurrida una hora desde que los panes se sacaron del horno. Para ello se midió el peso de los mismos con la balanza Sartorius TEG 101, y restando el peso del pan de la cantidad de masa depositada en el molde (200g) se obtuvo la pérdida de peso.

El volumen de los panes se determinó con el medidor de volumen BVM-L370 de TexVol Instruments (Viken, Sweden) mediante el programa Volscan. Esta medida se realizó en dos panes y dos veces por pan.

La textura se estableció mediante ensayos TPA (análisis de perfil de textura) de doble compresión, mediante el texturómetro universal TA-XT2, (Stable Micro Systems, Surrey, UK) provisto de una sonda cilíndrica de aluminio P/20, de 20 mm de diámetro y un área de contacto de 316,16 mm², controlado desde un PC con el programa Texture Expert. El ensayo se realizó sobre dos rebanadas centrales de 2 cm de espesor de dos panes de cada elaboración. La velocidad de ensayo fue de 1 mm/s con un tiempo de espera de 30 segundos entre la primera y segunda compresión. La deformación aplicada fue del 50%. Los parámetros texturales obtenidos fueron: dureza (fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares), elasticidad (tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante), masticabilidad (energía necesaria para masticar un alimento hasta que esté listo para deglutirlo), cohesividad (resistencia de la estructura interna del alimento) y resiliencia (capacidad de recuperación instantánea).

Para la medida del color del pan, tanto de la miga como de la corteza se utilizó el colorímetro Minolta CN 508i (Osaka, Japón), tomándose los datos correspondientes al espacio de color L*, a* y b* a una longitud de onda de 360 nm. A partir de estos valores, se obtuvieron el tono (h) y la saturación o croma (C*). Se realizó sobre dos panes tomando 5 medidas sobre cada uno.

Se evaluó la humedad de la miga de los panes mediante el método estándar 44 -19 de la AACC 2000. Para ello se pesaron en la balanza de precisión Cobos-Serie XB (Barcelona, España)

aproximadamente 2 gramos de miga, anotando su peso exacto, sobre una capsula de acero inoxidable, que se introdujo en una estufa de ventilación forzada (WTB Binder) a 105°C durante 24 ± 2 horas. La cápsula, una vez extraída de la estufa se pesó a temperatura ambiente tras su enfriamiento en desecador. Este análisis se realizó por duplicado.

Para tener constancia del aspecto visual de los panes se tomaron fotografías del pan en posición frontal y lateral, así como de una rebanada central con la cámara Olympus SP 510VZ; 10x optical zoom. Las fotografías se realizaron con iluminación artificial de luz blanca sobre fondo negro.

Para la evaluación de la estructura alveolar se analizó la imagen obtenida del escaneado en blanco y negro de las rebanadas, dos por elaboración, una de cada pan, en un escáner HP Scanjet G3110. Estas imágenes fueron tratadas con el programa WCIF ImageJ, tomando una sección de miga de 12 x 17 mm. Los parámetros obtenidos fueron: área media alveolar (mm^2); densidad alveolar (alveolos/ cm^2); porcentaje de vacíos (% de superficie de alvéolos respecto a la superficie total analizada); espesor de pared (distancia media en mm entre alvéolos colindantes); uniformidad: proporción entre los alvéolos pequeños respecto de los grandes, utilizando un tamaño alveolar umbral de $0,6 \text{ mm}^2$.

La vida útil del pan, se determinó realizando un ensayo TPA, como el explicado anteriormente, sobre los panes almacenados. Uno, al día siguiente de la elaboración y el otro, pasada una semana. Este análisis se realizó por duplicado.

3.6. Tratamiento estadístico de los datos

Se ha empleado el programa estadístico Statistica 6.0. (StatSoft Inc, Tulsa, USA) para realizar el estudio anova multifactorial anidado y para describir las diferencias significativas entre las medias a un nivel de significancia del $p < 0.05$, el test post-hoc de Fisher. Así mismo se utilizó el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc, Virginia, USA) para realizar los ajustes de los ensayos de deformación progresiva y relajación de la masa (regresión no lineal) y la tabla de correlaciones. Los coeficientes de Pearson, que pueden variar desde -1 a 1 se muestran como una medida de la fuerza de las relaciones lineales entre los pares de variables estudiadas. El número de datos para estudiar cada correlación siempre fue de 16. También se empleó para hacer el estudio de superficie respuesta y obtener las ecuaciones de regresión que permiten anticipar las propiedades de la masa y del pan a partir de las dosis de los dos factores de estudio: dosis de agua y dosis de β -glucano. Las ecuaciones recogen los términos lineales y cuadráticos de cada factor, así como su interacción. A partir de estas ecuaciones se pueden predecir los niveles de ambos factores que optimizan las características más importantes de las masas y los panes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para establecer el efecto del β -glucano de avena (en adelante OBG) y de la dosis de agua en la formulación de pan sin gluten, se midieron propiedades reológicas de las masas de pan y propiedades morfogeométricas, textura, alveolado y vida útil de los panes obtenidos. Se realizó un diseño que utilizaba dosis de agua adaptadas a la dosis de OBG establecidas mediante ensayos preliminares, según se ha indicado en apartado 3. Materiales y métodos. A continuación se van a analizar y discutir los resultados obtenidos para aquellos 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 los factores de estudio: dosis de OBG y dosis de agua (variables independientes) y se obtuvieron ecuaciones de regresión multivariable que permitieron obtener las superficies respuesta de los parámetros medidos. Debe tenerse en cuenta que estas superficies respuesta son sólo válidas y fiables para dosis de OBG y AGUA comprendidas entre los niveles ensayados. Los niveles de agua que se mencionarán en lo sucesivo se corresponden a lo descrito en la Tabla 1 del apartado 3. Materiales y métodos. En el Anexo 1, se muestran las tablas con las medias y sus respectivos grupos homogéneos, de todos los parámetros medidos en este estudio, además de sus errores estándar y sus intervalos de confianza.

4.1. REOLOGÍA

Con el objeto de estudiar el efecto del OBG sobre las masas de pan en función de la dosis de agua utilizada, se procedió a la realización de ensayos reológicos fundamentales. Trabajos previos han demostrado la buena correlación de estas propiedades reológicas con los parámetros de calidad del pan (Dobraszczyk y Morgenstern, 2003; Demirkesen et al, 2010). Este estudio permitirá establecer la existencia y forma de esta correlación al objeto de aportar una herramienta que facilite la formulación de pan sin gluten enriquecido en OBG.

4.1.1. Barrido de frecuencias

La Figura 1a muestra la evolución del módulo elástico (G'_1) de la masa con la dosis de agua empleada para las cuatro dosis de OBG añadidas. En ella se observa cómo el módulo elástico disminuyó a medida que se incrementó la hidratación de la masa. Un comportamiento similar observaron Ronda et al (2013) y Lazidorou et al (2007) en masas sin gluten, así como en masas elaboradas con harina de trigo (Autio et al, 2001). Este efecto se atribuye a la dilución de los componentes de la masa. Sin embargo, la masa no se ve influenciada por la adición de OBG. Lazaridou et al. (2007) observaron un efecto muy bajo, casi nulo, del β -glucano sobre el módulo viscoso a 1 Hz en masas libres de gluten. En la Figura 1b se muestra la gráfica superficie

respuesta, representación de la ecuación indicada en la parte inferior, que permite deducir el módulo viscoso en función de los dos factores de estudio. En ella puede observarse que para las dosis más bajas de agua, la adición individual de OBG aumentaría el modulo viscoso de los panes, sin embargo para los panes más hidratados la adición individual de OBG supondría una ligera disminución de dicho módulo.

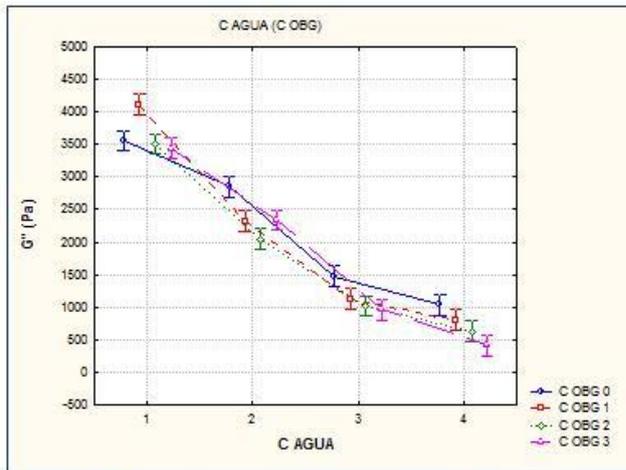


Figura 1a. Evolución del módulo viscoso con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

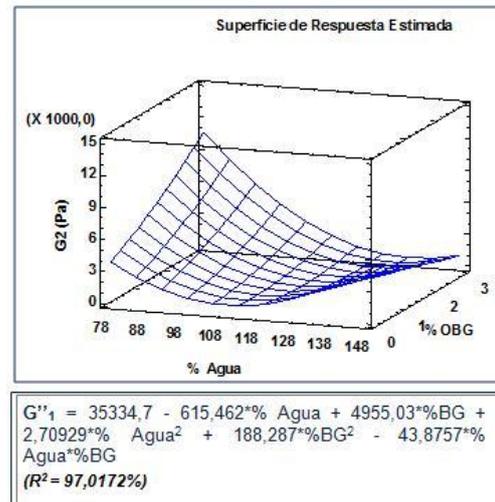


Figura 1b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el módulo viscoso en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

La ecuación del ajuste para el módulo viscoso (Figura 1b) nos permite comprobar qué efectos resultaron significativamente diferentes a cero (aquellos cuyos efectos estandarizados fueron mayores de 2) y nos permite predecir el valor de este parámetro, para cualquier dosis de agua o de OBG que asignemos, con una bondad del 97,02%. La adición individual de agua supondría una disminución del módulo viscoso (signo negativo del término lineal) hasta un mínimo (signo positivo del término cuadrático) a partir del cual aumentaría. La adición individual de OBG podría aumentar el módulo viscoso (signos positivos de los términos lineal y cuadrático) pero la adición simultánea de agua y OBG disminuiría dicho módulo más allá del efecto individual de cada uno (signo negativo de la interacción OBG*AGUA). Un comportamiento similar observaron Ronda et al (2013) en su estudio sobre adición de diferentes fibras, entre ellas β -glucano de cebada, en masas libres de gluten a base de harina de arroz. El grado de dependencia del módulo viscoso con la variación de la frecuencia (exponente b), sufrió un aumento con el incremento de la dosis de agua (Figura 2a). Es habitual que las masas menos consistentes tengan una estructura menos estable y más dependiente de la frecuencia (Ronda et al. 2013).

La ecuación de la Figura 2b indica que la adición individual de OBG supondría también un aumento de este exponente, sin embargo, el término de interacción AGUA*OBG de signo negativo, indica que la presencia de agua haría disminuir el exponente b más allá de la suma de los efectos individuales. Igualando los dos términos en que aparece el OBG, el simple y el de

interacción, se puede deducir que a partir de dosis de agua muy inferiores a la mínima probada, el término de interacción tiene una mayor importancia cuantitativa que el término simple. Por lo tanto, puede concluirse que en todas las masas elaboradas la presencia de OBG produjo un descenso del coeficiente b, lo que confirma un refuerzo de la estructura de la masa.

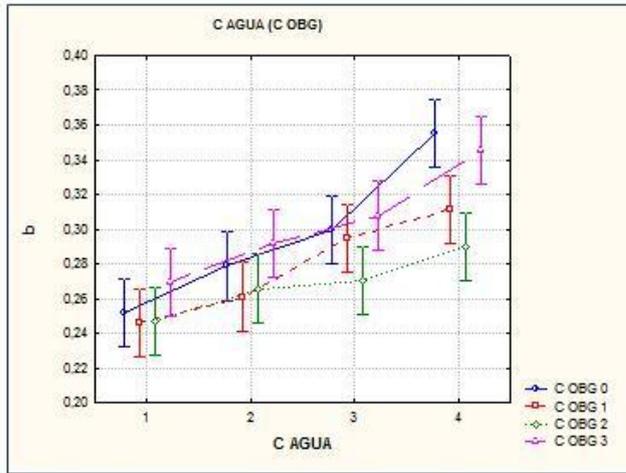


Figura 2a. Evolución del exponente b con la dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

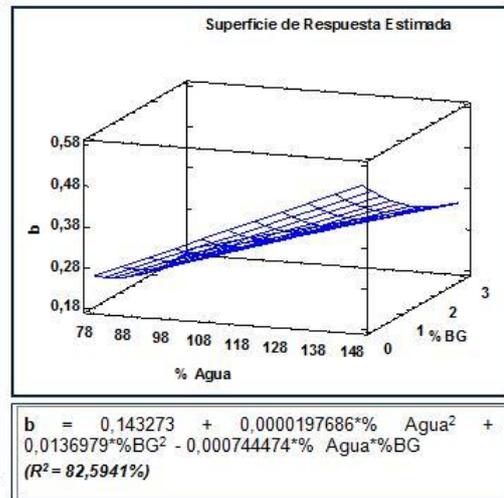


Figura 2b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el exponente b en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

El módulo elástico disminuyó a medida que se incrementó la dosis de agua, independientemente de la adición de OBG (Figura 3a). En todas las masas, tanto con OBG como sin el, el valor del módulo elástico fue mayor que el módulo viscoso, lo que sugiere un mayor comportamiento elástico de estas masas sin gluten (Hager et al, 2011).

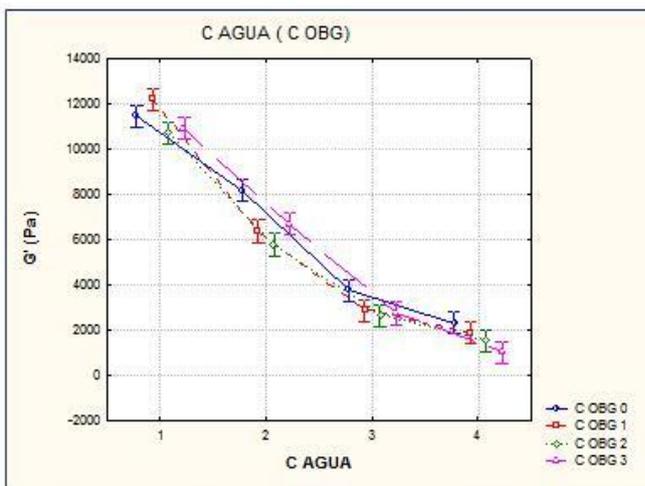


Figura 3a. Evolución del módulo elástico con la dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

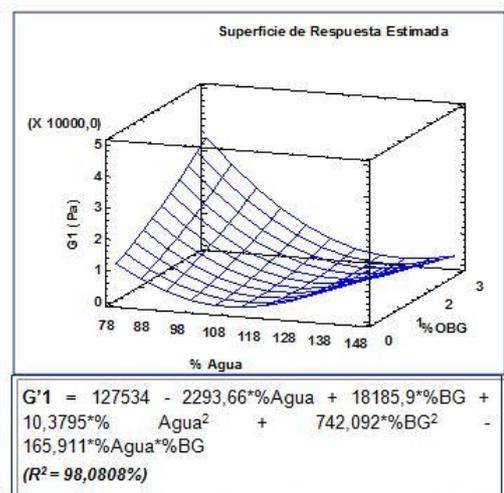


Figura 3b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el módulo elástico en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

En la ecuación del ajuste para el módulo elástico (Figura 3b) podemos ver cómo la adición de agua (coeficiente negativo del término lineal) podría disminuir el módulo elástico pero no de una forma mantenida sino que el descenso del módulo $G'1$ es cada vez menos acusado a altas dosis de agua. La adición individual de OBG aumentaría el valor del módulo elástico, sin embargo, la adición simultánea de agua y OBG supondría una disminución del citado módulo, más allá de su efecto individual. En consecuencia, en masas poco hidratadas la presencia de OBG pudo aumentar los módulos G' y G'' pero en masas muy hidratadas este efecto es mucho menor. En cuanto al grado de dependencia del módulo elástico con la variación de la frecuencia (exponente a), se ha observado que el incremento de la dosis de agua supuso un aumento de este parámetro.

La tangente de pérdida aumentó con el aumento de la dosis de agua (Figura 4a), con independencia de la adición de OBG. En la Figura 4b, se observa que la adición de OBG en las masas más hidratadas, podría disminuir el valor de este parámetro. En cambio, para las masas menos hidratadas no se observaron diferencias y se obtuvieron los valores más bajos (aprox. 0,28) (Figura 4a). Todos los valores de la tangente de pérdida fueron menores de 1 como consecuencia de ser mayor el módulo elástico al módulo viscoso, indicando que las masas tenían un comportamiento como el de un sólido elástico (Hager et al, 2011). Comportamientos como este han sido observados también en masas de harina de trigo (Dobraszczyk y Morgenstern, 2003; Edwards et al., 2003; Weipert, 1990) y en masas a base de harina de arroz (Gujral et al., 2003; Sivaramakrishnan et al., 2004). Hager et al (2011) observaron que los valores de la tangente de pérdida eran menores en las masas sin gluten a las que se les había añadido OBG, con respecto a las que se les había añadido inulina. La adición de OBG afecta a la proporción de la componente viscosa respecto a la elástica debido a su capacidad de retención de agua (Hager et al, 2011).

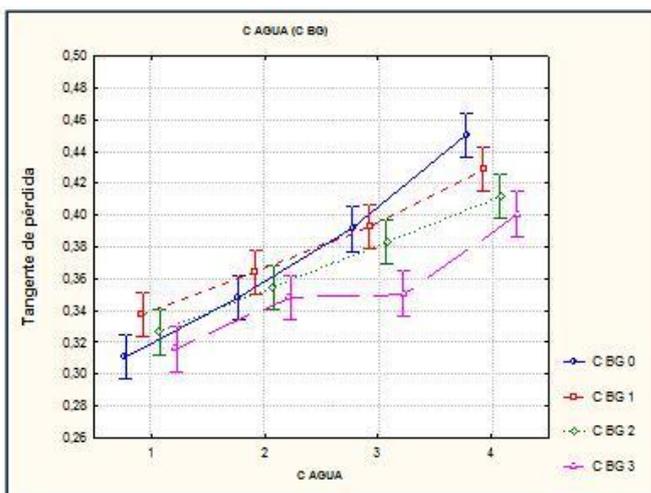


Figura 4a. Evolución de la tangente de pérdida con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

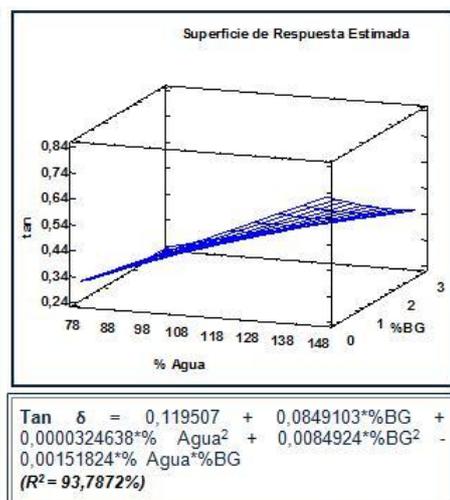


Figura 4b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la tangente de pérdida en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

Otros autores también han observado 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). Esta influencia parece estar relacionada 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). A partir de la ecuación de la Figura 4b, se puede deducir un incremento de la tangente de pérdida entre las dosis extremas de agua ensayadas en ausencia de OBG de hasta un 40%. Por el contrario, la adición de OBG para cualquiera de las dosis añadidas, produciría un descenso de este parámetro ya que el término de interacción Agua*OBG, de signo negativo, resulta ser mayor que la suma de los términos lineal y cuadrático del OBG, ambos de signo positivo. El grado de dependencia de la tangente de pérdida con la variación de la frecuencia (exponente c) aumentó con la dosis de agua. Los valores para este parámetro fueron mayores en el caso de los panes con 3,9% de OBG, y menores en los panes con 1,2% de OBG.

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

Las curvas obtenidas del ensayo de deformación progresiva y relajación de estas masas presentan un comportamiento viscoelástico, que combina el comportamiento de un fluido viscoso con el de un sólido elástico. Estas curvas son similares a las obtenidas para masas de harina de trigo (Rouille et al, 2005; Van Bockstaele et al., 2011), masas de harina de arroz (Sivaramakrishnan et al., 2004) y otras masas libres de gluten (Lazaridou et al., 2007). Dado que los ensayos se realizaron en la zona viscoelástica lineal, 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 ello sólo se van a presentar los resultados correspondientes a la zona de deformación progresiva.

En las Figuras 5a y 6a se observa como tanto la capacitancia elástica instantánea (J_0) como la retardada (J_1) se incrementaron de forma exponencial a medida que se aumentaba el nivel de agua.

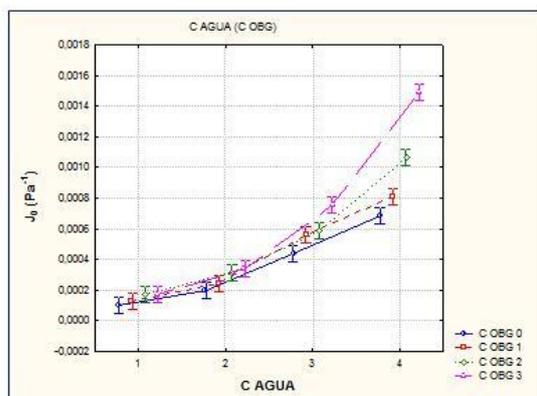


Figura 5a. Evolución de la capacitancia elástica instantánea con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

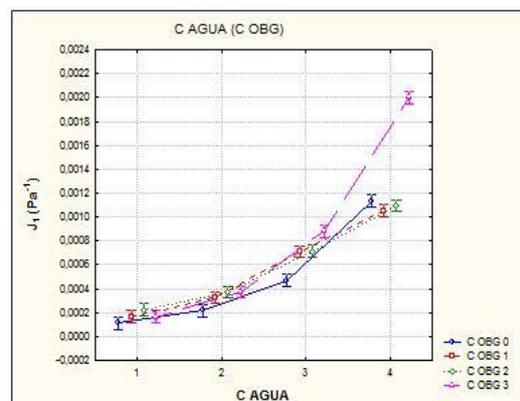


Figura 6a. Evolución de la capacitancia elástica retardada con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

Esto indica que las masas más hidratadas son capaces de experimentar una mayor deformación elástica instantánea y retardada ante la aplicación de un esfuerzo dado. En las Figuras 5b y 6b, se observa que las masas más hidratadas presentarían los valores más altos de capacitancia, disminuyendo éstas con el incremento de la dosis de OBG. Según predicen las ecuaciones de las Figuras 5b y 6b, la dosis de agua podrían disminuir ambas capacitancias (término lineal de signo negativo) hasta un determinado valor donde se obtuvo un mínimo (signo positivo del término cuadrático), valor que en ausencia de OBG correspondió a un 77% de agua, a partir del cual volverían a aumentar. La adición individual de OBG aumentaría las capacitancias (signos positivos de los términos lineal y cuadrático) si bien la adición simultánea de agua y OBG disminuiría su efecto más allá del efecto individual de cada uno (signo negativo del término de interacción OBG*AGUA), obteniéndose por lo tanto en las masas con una hidratación suficiente, un descenso de J_0 y J_1 con el aumento de OBG.

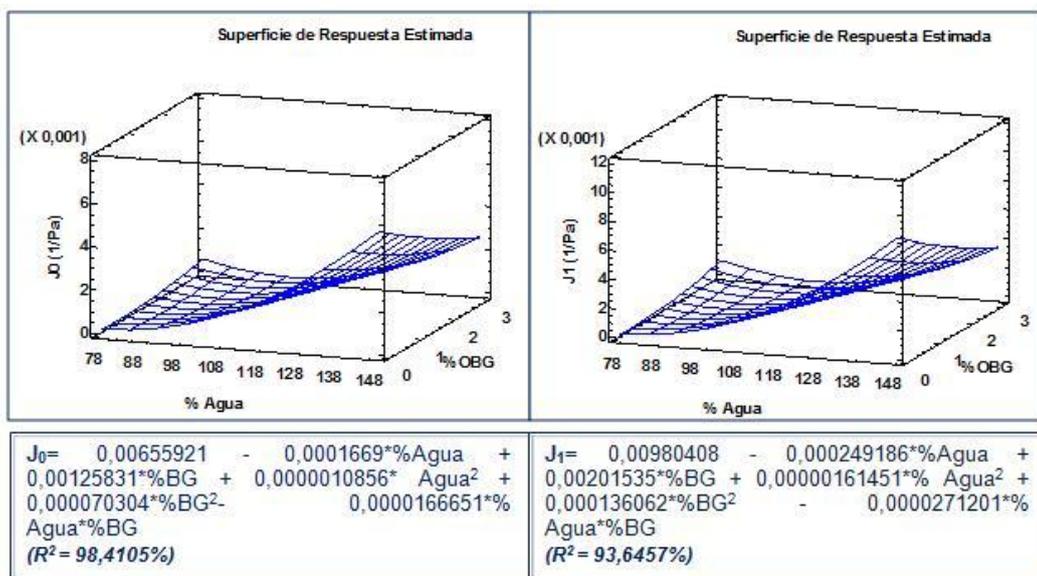


Figura 5b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la capacitancia elástica instantánea en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

Figura 6b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la capacitancia elástica retardada en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

Ronda et al (2013) también obtuvieron un efecto similar en las masas hidratadas con β -glucano de cebada, en concordancia con los altos requerimientos de agua del β -glucano para crear una estructura elástica que resista la deformación. Los segmentos de celulosa de los β -glucanos de cereal podrían contribuir a la rigidez de estas moléculas en disolución, mientras que las uniones β (1-4) pueden presentar una tendencia de agregación entre las cadenas (y por lo tanto suponer una disminución de la solubilidad) mediante los puentes de hidrógeno a lo largo de las porciones de celodextrina (Lazaridou y Billiaderis, 2007).

La viscosidad en estado estacionario (μ_0) sufrió un disminución a mayor hidratación de las masas (Figura 7a). En la Figura 7b, se observa como en las masas menos hidratadas, el

incremento de la dosis de OBG supondría un aumento de este parámetro. La ecuación de la Figura 7b permite predecir que la dosis de agua disminuiría la viscosidad (signo negativo del término lineal) hasta un mínimo (signo positivo del término cuadrático) a partir del cual aumentaría.

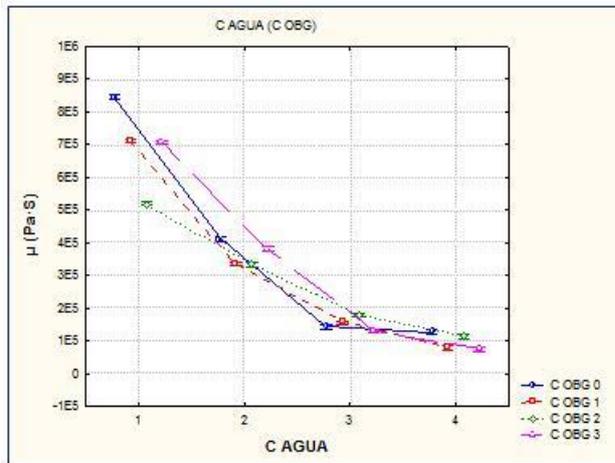


Figura 7a. Evolución de la viscosidad en estado estacionario con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

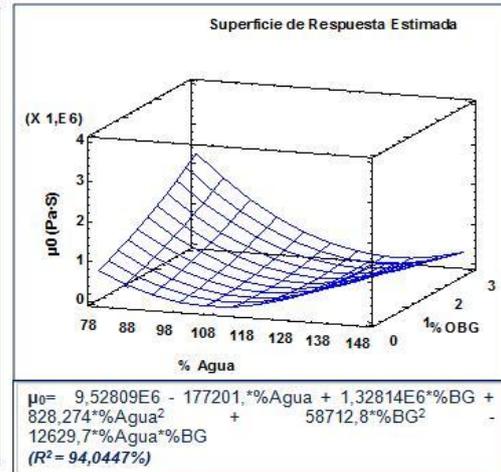


Figura 7b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para viscosidad en estado estacionario en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

En ausencia de OBG este mínimo se produciría a 106% de agua, dosis no ensayada, que corresponde a condiciones de extrapolación a las que no se debe prestar gran atención ya que además, no resulta razonable. En presencia de OBG la dosis de agua que conduce al mínimo también aumenta de forma que vuelve a caer fuera del intervalo ensayado. Por lo tanto, debemos retener la conclusión de que la dosis de agua disminuye la viscosidad. Por su parte, la adición individual de OBG supondría un aumento de la viscosidad (signos positivos de los términos lineal y cuadrático), sin embargo la adición simultánea de agua supondría una disminución de la viscosidad estacionaria (signo negativo de la interacción AGUA*OBG) más allá del efecto individual de cada uno.

En cuanto al tiempo de retardo (λ_1) únicamente fue influenciado por la dosis de OBG, disminuyendo éste cuando se aumentaba la dosis de OBG. Lo que indica que el incremento de la dosis de OBG retrasa la respuesta elástica (Ronda et al, 2013).

4.2. PROPIEDADES DE LOS PANES

En la Figura 8a se muestra el efecto de la dosis de agua sobre el volumen específico de los panes. El efecto más suave se observó en los panes con mayor dosis de OBG, en los que el volumen específico apenas varió con la dosis de agua (que fluctuó entre 111 – 141%) presentando los valores más bajos. De la ecuación del ajuste para el volumen específico que se presenta en la Figura 8b puede predecirse que la dosis de agua aumentaría el volumen

específico (término lineal de signo positivo) hasta un determinado valor donde existe un máximo (signo negativo del término cuadrático), a partir del cual el volumen específico volvería a disminuir. La adición individual de OBG disminuiría el volumen específico del pan (signo negativo del término lineal y cuadrático) pero la adición simultánea de agua aumentaría el volumen específico más allá del efecto individual de cada uno (signo positivo del término de interacción BG*AGUA).

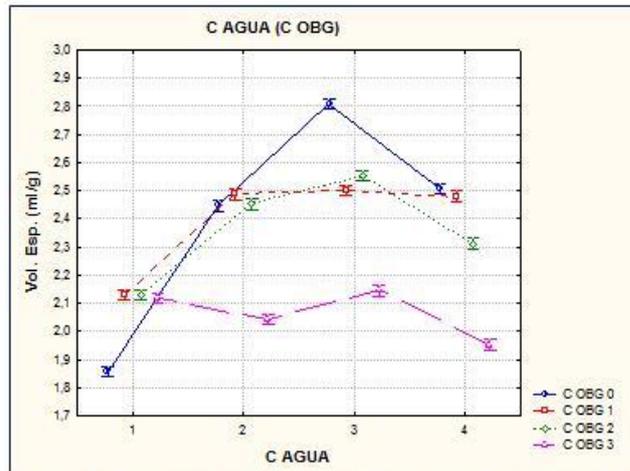


Figura 8a. Evolución del volumen específico con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

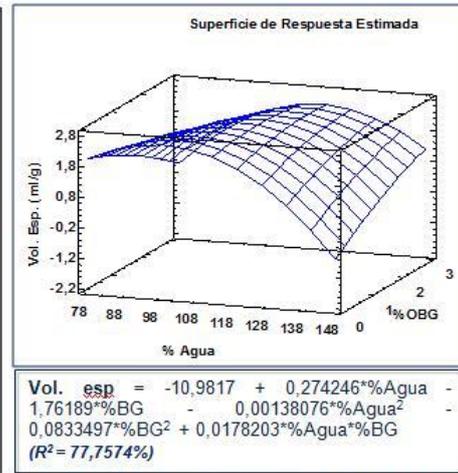


Figura 8b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el volumen específico en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

En la gráfica de la Figura 8b puede observarse que para las dosis más bajas de agua, la adición de OBG podría disminuir el volumen específico de los panes, sin embargo para los panes más hidratados la adición de OBG supondría un aumento del volumen específico. Pastuszka et al (2012) en su estudio sobre la adición de OBG en la elaboración de panes sin gluten, observaron que la adición de las dosis más bajas de OBG (0,5% y 1% sobre base de harina) no tenía una influencia significativa sobre el volumen del pan con respecto al blanco. Un comportamiento similar obtuvieron Hager et al (2011) en su estudio sobre la adición de inulina y OBG en panes sin gluten y en panes elaborados con harina de trigo. Sin embargo, en el estudio realizado por Lazaridou et al (2007) sobre la adición de distintos tipos de hidrocoloides (incluido entre ellos el OBG) en masas y panes sin gluten, la adición de hasta un 1% de estos hidrocoloides, suponía un aumento del volumen de los panes con respecto al control, y cuando se incrementaba este porcentaje, el volumen disminuía. Una posible explicación de ese incremento del volumen es que la adición de dosis bajas de β -glucano, como hidrocoloide que es, puede mejorar el desarrollo de la masa y la retención de gas (Rosell et al, 2001) por el incremento de la viscosidad de la masa (Delcour et al, 1991). El incremento de la dosis de OBG a partir del 2,6% supone una disminución de la calidad del pan, en cuanto a volumen específico, como puede observarse en la Figura 8a y en las fotografías de los panes recogidas en el Anexo 1. La pureza del OBG comercial era relativamente baja, como se ha comentado en el apartado 3. Materiales y métodos (33%), por lo que este descenso del volumen específico podría deberse también a la

adición simultánea, junto con el OBG, de una cantidad no despreciable de otros carbohidratos, tipo dextrinas, y proteínas, procedentes de la avena. También puede deberse a la excesiva hidratación de las masas. La dosis óptima de agua necesaria para minimizar la dureza de los panes con una dosis de 1,8% de OBG (dosis que cumple con las recomendaciones de la EFSA) sería de 110,8% de AGUA.

Mediante el ensayo TPA comentado en el apartado 3. Materiales y métodos, se realizaron las mediciones de las propiedades texturales de los panes. El efecto de la dosis de agua y de OBG sobre la dureza de los panes se muestra en Figura 9a. El efecto más marcado se observó en el pan control, sin OBG, a pesar de que el intervalo de dosis de agua ensayado (78 – 99%) fue el más estrecho de los estudiados (Tabla 1) El efecto más suave se observó en los panes con mayor dosis de OBG, presentando los valores más elevados de dureza mínima, lo que está en concordancia con el bajo volumen específico de estos panes comentado anteriormente. La dureza de estos panes, con la mayor concentración de OBG, resultó ser el triple de la del pan control de menor dureza. Según se observa en la ecuación de la Figura 9b, la dosis de agua disminuiría la dureza (término lineal de signo negativo) hasta un determinado valor donde se obtuvo un mínimo (signo positivo del término cuadrático), a partir del cual la dureza volvería a aumentar. La adición individual de OBG supondría un aumento de la dureza del pan (signo positivo del término lineal) si bien la adición simultánea de agua disminuiría su efecto más allá del efecto individual de cada uno (signo negativo del término de interacción OBG*AGUA).

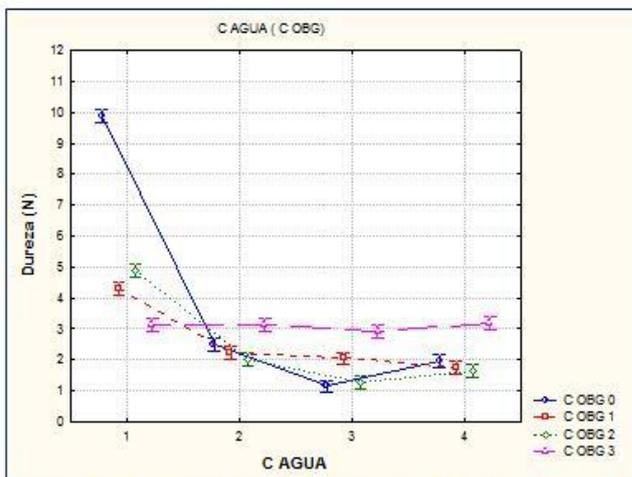


Figura 9a. Evolución de la dureza con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

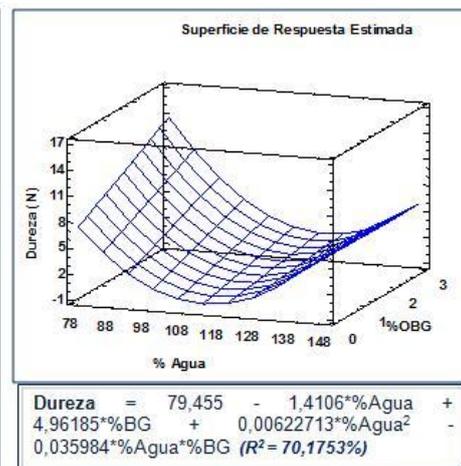


Figura 9b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la dureza en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

En la Figura 9b puede observarse que para las dosis más bajas de agua, la adición de OBG aumentaría la dureza de los panes. En cambio, también se puede observar en dicha gráfica, cómo para la dosis más alta de agua, la adición de OBG llegaría incluso a disminuir la dureza de la miga de pan. Resultados similares fueron obtenidos por otros autores como Hager et al (2011) en su estudio sobre la adición de OBG en masas de panes sin gluten fuertemente hidratadas.

Esto puede ser debido a que un exceso de hidratación, en ausencia de OBG, conduce a masas muy fluidas que no son capaces de retener el gas producido durante el horneado y que conducen a panes de menor volumen y en consecuencia más duros. La dosis óptima de agua necesaria para minimizar la dureza de los panes con una dosis de 1,8% de OBG sería de 118,5% de AGUA.

La masticabilidad, está relacionada directamente con la dureza, ya que este parámetro es resultado del producto dureza x cohesividad x elasticidad, y donde la dureza es el factor de mayor importancia cuantitativa. Es por esto que la evolución de la masticabilidad ha sido similar a la de la dureza. La elasticidad de los panes no se vio afectada por la adición de OBG. En cuanto a la cohesividad de la miga, se observó que la adición de OBG supuso un aumento de la misma.

La evolución de la resiliencia con las dosis de agua para las dosis de OBG estudiadas se presenta en la Figura 10a. En ella se observa que los valores más altos de resiliencia se encontraron en los panes con adición de OBG. Un aumento de la hidratación de las masas aumentó la resiliencia de la miga de pan aunque la adición de OBG causó un aumento todavía más notable. En la Figura 10b se muestra la superficie respuesta que permite deducir la resiliencia en función de la dosis de agua y de OBG.

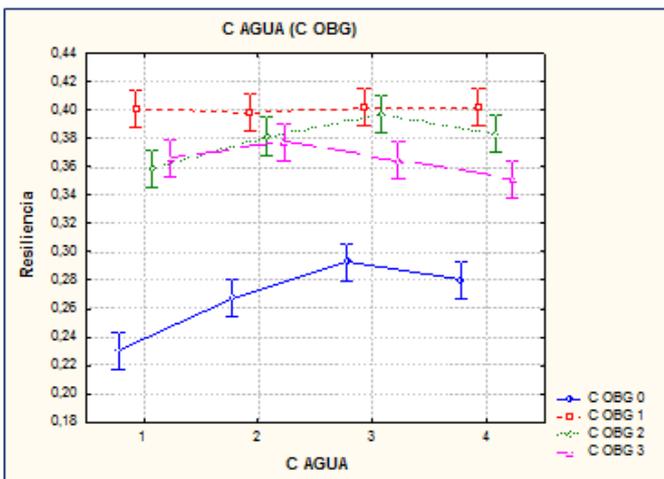


Figura 10a. Evolución de la resiliencia con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

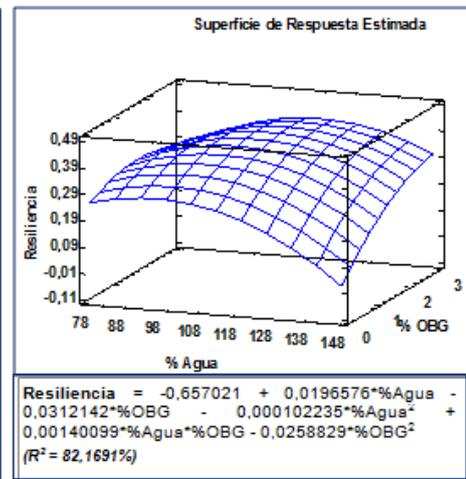


Figura 10b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la resiliencia en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

Según la ecuación de la Figura 10b, el incremento de la dosis de agua aumentaría ligeramente la resiliencia (término lineal de signo positivo) hasta un determinado valor (109% de agua, en ausencia de OBG) donde existe un máximo (signo negativo del término cuadrático), a partir del cual la resiliencia volvería a disminuir. El signo positivo del término lineal (%OBG) nos dice que la adición individual de OBG supondría un aumento de la resiliencia de los panes pero hasta un máximo (signo negativo del efecto cuadrático $\%OBG^2$) en torno a la dosis de 2,4 %, a partir de la cual disminuiría. La dosis óptima de agua necesaria para maximizar la resiliencia de los panes

con una dosis de 1,8% de OBG sería de 109,1% de AGUA, independientemente de la dosis de OBG, ya que no se ha observado interacción significativa, OBG*Agua. La resiliencia de la miga para la dosis de 1,8% de OBG y 109% de agua podría predecirse en 0.39.

En cuanto a la vida útil de los panes, se van a comentar a continuación los incrementos de dureza a día 1 y a día 7. La dureza del pan, que está correlacionada con la percepción de frescura del pan y que es uno de los parámetros que da evidencia del envejecimiento del pan, es causada por la retrogradación del almidón y por las diferencias de presión vapor entre la corteza y la miga, resultando en una migración de la humedad (Hager et al. 2011). Se ha observado que la adición de agua disminuyó el incremento de la dureza (Figuras 11a y 12a). Esto supone una disminución del grado de envejecimiento de los panes. La presencia de OBG con dosis adecuadas de agua también permitió obtener panes con un endurecimiento controlado, casi tan bajo como en el pan control. Sólo la dosis más alta de OBG condujo, al cabo de 7 días, a un endurecimiento de la miga significativamente mayor al mínimo observado en el pan control, para una dosis de agua optimizada. Hager et al (2011) observaron que la adición de OBG en panes sin gluten produjo un ablandamiento de los panes medidos tanto a día 2 como a día 5. Tal vez la alta dosis de agua que lleva emparejada la adición de OBG y su alta capacidad de retención de la misma disminuye la pérdida de agua durante el almacenamiento y justifica estos resultados (Sabanis et al, 2009).

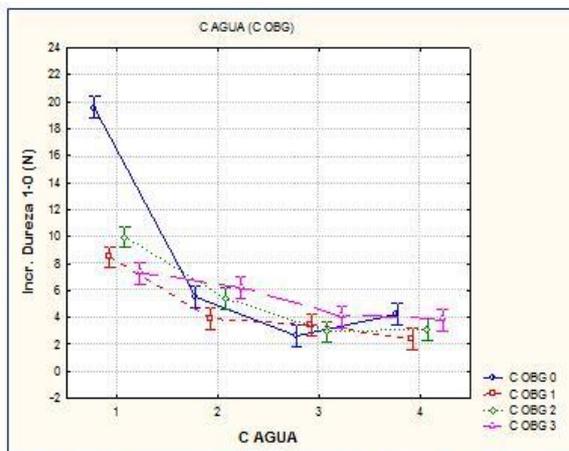


Figura 11a. Evolución del incremento de dureza a día 1 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

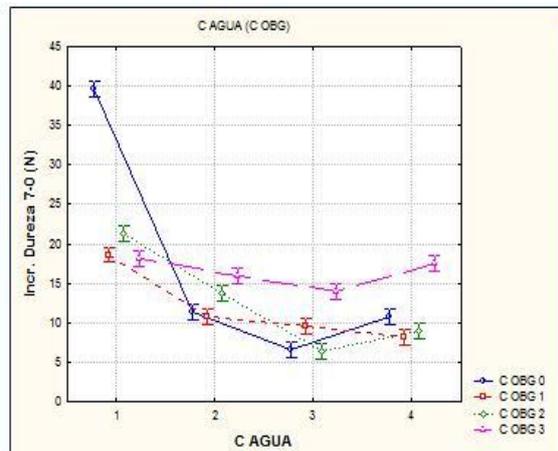


Figura 12a. Evolución del incremento de dureza a día 7 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

En este trabajo también se ha comprobado que el endurecimiento del pan control podría ser superior al del pan enriquecido si se comparan panes con dosis de agua bajas, sin optimizar. En las Figuras 11b y 12b se muestran las superficies respuesta que permiten deducir el incremento de dureza a día 1 y a día 7, respectivamente, en función de la dosis de agua y de OBG. Puede confirmarse que el efecto del agua en la fórmula es muy superior al efecto del OBG: El agua retrasa el envejecimiento de forma notable y el OBG lo aumenta aunque de forma suave. Esto

nos permite concluir que el bajo incremento de dureza con el tiempo de almacenamiento en los panes enriquecidos viene determinado por el aumento de agua en la fórmula que la presencia de OBG permite, así como por su capacidad de retención del agua. La dosis óptima de agua necesaria para minimizar el incremento de dureza de los panes a día 1 y a día 7, independientemente de la dosis de OBG (no se obtuvo interacción OBG*Agua significativa), sería de 125 – 130% de agua en ambos casos.

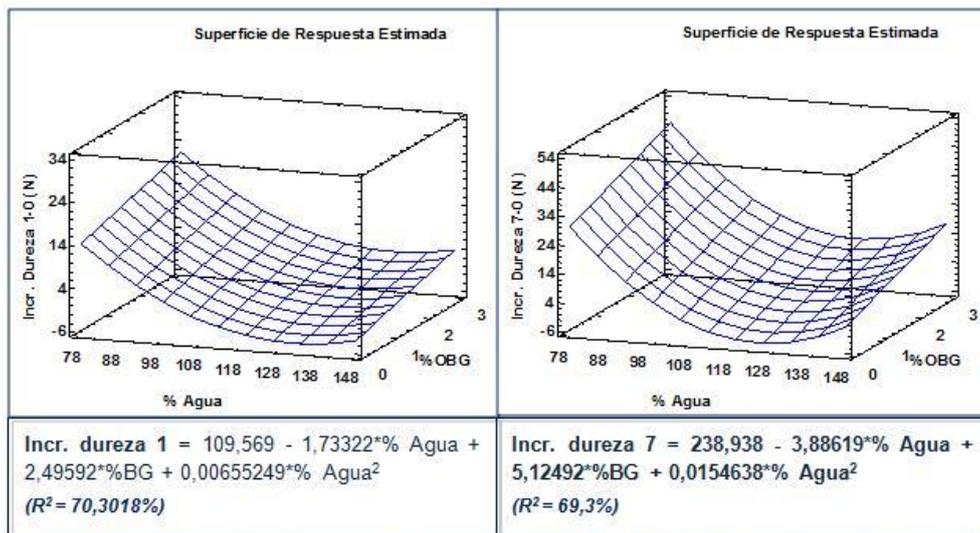


Figura 11b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de dureza a día 1 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

Figura 12b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de dureza a día 7 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

La resiliencia, al igual que la elasticidad y la cohesividad de la miga, siempre disminuye con el tiempo de almacenamiento del pan debido tanto a la pérdida de agua de la miga por migración hacia la corteza (Ronda y Roos 2011), como por su incorporación a los cristales de amilopectina retrogradada (Ribotta y Le Bail, 2007). De ahí que los incrementos observados en dichos parámetros tuvieran siempre valores negativos. La adición de agua, en ausencia de OBG aumentó el incremento de resiliencia hasta un cierto valor, en que volvió a disminuir, evolución similar a la observada en la resiliencia del pan fresco. Por el contrario, en presencia de OBG, el incremento de agua supuso para las dosis más elevadas una disminución (en valor absoluto) del incremento de resiliencia de los panes. Probablemente la gran capacidad de retención de agua del OBG es de nuevo responsable de este efecto (Lazaridou et al, 2007).

La adición de OBG supuso un aumento de la pérdida de peso con respecto a los controles (Figura 13a). Hager et al (2011), también observaron que la adición de OBG en panes sin gluten aumentaba el porcentaje de pérdida de peso de los panes. Probablemente se debe a que los panes con OBG tuvieron mayores cantidades de agua en su fórmula. El aumento de la dosis de agua aumentó las pérdidas en el horneado.

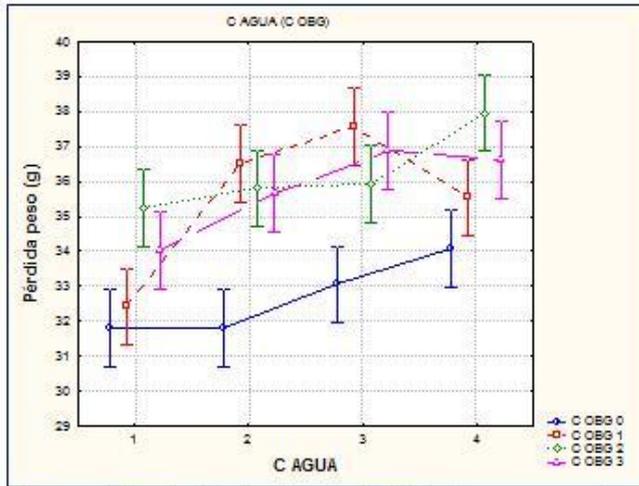


Figura 13a. Evolución de la pérdida de peso con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

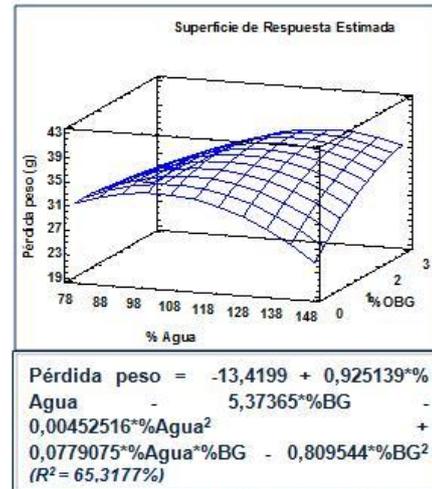


Figura 13b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la pérdida de peso en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

En la ecuación de la Figura 13b se deduce cómo la adición de agua supondría un incremento de la pérdida de peso (signo positivo del término lineal) hasta un máximo (signo negativo del término cuadrático). La adición individual de OBG supondría una disminución de la pérdida de peso (signo negativo de los términos lineales y cuadráticos), sin embargo la adición simultánea de OBG y agua aumentaría la pérdida de peso más allá del efecto individual de cada uno.

En lo que se refiere a las propiedades del color de los panes, en la Figura 14a se puede apreciar la evolución de la luminosidad de la corteza del pan con la dosis de agua empleada para las dosis de OBG añadidas. En ella se observa que en el pan control, sin OBG, el aumento de la dosis de agua no afectó apreciablemente a la luminosidad de la corteza. Sin embargo, en los panes enriquecidos, el aumento de agua provocó un aumento en la luminosidad de la corteza, tanto más acusado cuanto mayor fue la dosis de OBG. Lazaridou et al (2007) observaron que los panes con adición de 1% de OBG, presentaron la mayor luminosidad, entre todos los hidrocoloides estudiados, y mayor que el pan control.

En Figura 14b se muestra la superficie respuesta que permite deducir la luminosidad de la corteza en función de la dosis de agua y de OBG. En la ecuación de la Figura 14b, únicamente fue significativa en la luminosidad la adición de agua. Probablemente la variabilidad aleatoria hizo que no llegase a ser significativo el efecto del OBG. La adición de agua a los panes sin gluten supondría un aumento de la luminosidad debido al signo positivo del término cuadrático. Esto parece poner de manifiesto que el efecto habitualmente atribuido al OBG sobre la luminosidad de la corteza es probablemente sólo debido a la mayor dosis de agua habitualmente utilizada en la formulación de panes con este hidrocoloide.

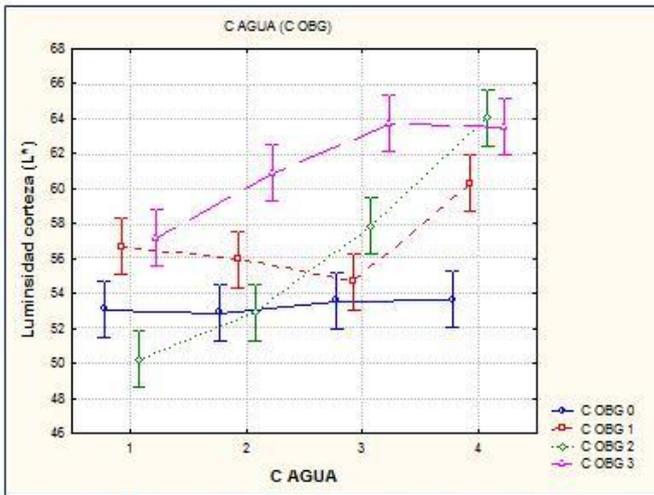


Figura 14a. Evolución de luminosidad de la corteza con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

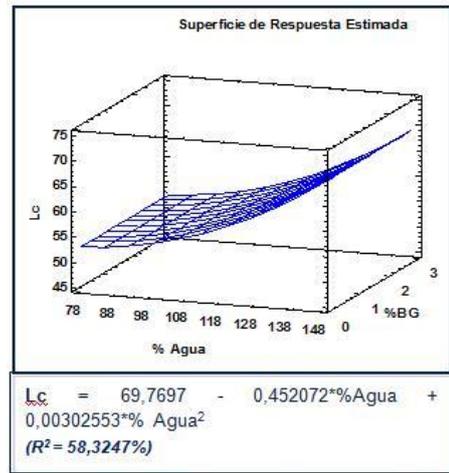


Figura 14b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la luminosidad de la corteza en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

Según las coordenadas a^* y b^* de la corteza de los panes, el tono varió entre 59 y 77 grados de arco (anexo 1). Los valores más altos, correspondientes a las cortezas más amarillentas, se obtuvieron con las dosis más elevadas de agua. El agua ejerció un efecto significativo sobre el tono de la corteza mientras que el OBG no afectó a esta propiedad del pan sin gluten

A mayor hidratación de la masa, la humedad de la miga aumentó, independientemente de la dosis de OBG (Figura 15a). La humedad de la miga aumentó con la adición de OBG seguramente debido al aumento de agua asociado al de hidrocoloide. Un comportamiento similar obtuvieron Lazaridou et al en 2007, en su estudio sobre el efecto de la adición hidrocoloides en masas sin gluten; Hager et al (2011), también observaron que la adición de OBG en masas de pan sin gluten, aumentó la humedad de la miga. Además, observaron que la humedad final de la miga mostraba una correlación lineal con el nivel de agua incorporado a la masa. Lo mismo podría concluirse del presente trabajo.

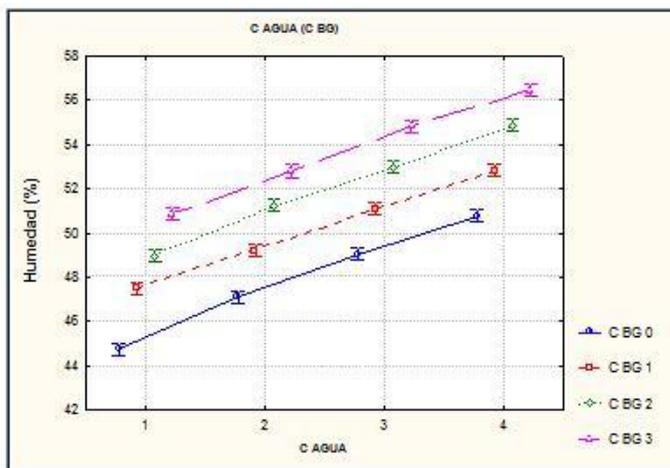


Figura 15a. Evolución de la humedad de la miga con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

En cuanto a la densidad alveolar, no se ha observado una tendencia clara con el aumento del nivel de agua para cada dosis de OBG. Sin embargo, la adición individual de agua supondría un aumento de la misma hasta un determinado valor (aprox. 98% de agua) a partir del cual disminuiría. La adición individual de OBG disminuiría la

densidad alveolar, sin embargo la incorporación simultánea de Agua y OBG supondría un aumento de este parámetro, más allá de sus efectos individuales. Lazaridou et al (2007) observaron que la adición de un 1% OBG incrementaba la porosidad de los panes. Wang et al (1998) observaron que la incorporación de β -glucano en panes elaborados con harina de trigo mejoró la densidad alveolar de la miga, probablemente debido a la estabilización de las burbujas de aire en la masa previniendo la coalescencia de las mismas.

4.3. CORRELACIONES

La matriz de correlaciones (Tabla 2) suministra información útil sobre la relación significativa entre los distintos parámetros medidos tanto de los panes como de las masas de pan sin gluten.

Se encontró una fuerte correlación positiva ($r=0,996$; $p<0,001$) entre los indicadores del comportamiento viscoelástico de las masas, es decir, entre los módulos elástico (G'_1) y viscoso (G''_1), de manera que cuando uno aumentaba el otro también lo hacía. La tangente de pérdida ($\tan \delta_1$), resultó correlacionada ($p < 0,001$) negativamente con ambos módulos (G'_1 : $r = -0,85$; G''_1 : $r = -0,83$) de manera que cuando los módulos aumentaban, la tangente de pérdida disminuía. Esto indica que aquellos factores que hicieron aumentar la consistencia de las masas, aumentando tanto el módulo viscoso como el elástico, lo hicieron en mayor medida sobre el elástico, de manera que el cociente G''/G' disminuía. Se observó una estrecha correlación positiva de la tangente de pérdida con el grado de dependencia del módulo viscoso con la variación de la frecuencia, exponente "a" ($r = 0,84$; $p<0,001$). Esto significa que las masas con mayores tangentes de pérdida, o de mayor carácter viscoso, coincidían con aquellas que tenían módulos viscosos más dependientes de la frecuencia. El exponente "b" no resultó correlacionado significativamente ni con G'_1 , ni con G''_1 ni con $(\tan \delta)_1$.

Como era de esperar, se encontró una fuerte correlación entre los parámetros de capacitancia elástica en el ensayo de deformación y los equivalentes en el ensayo de relajación progresiva de las masas ($0,96 < r < 1,00$ con $p < 0,001$), ya que estos se llevaron a cabo en la región viscoelástica lineal. También se observó que los factores que incrementaron la viscosidad en estado estacionario (μ_0) implicaron la disminución de las capacitancias tanto en la fase de deformación como en la de relajación. Resultados similares obtuvieron Lazaridou et al., (2007) y Ronda et al., (2013). Los factores que aumentaron los módulos elástico y viscoso también aumentaron la viscosidad en estado estacionario.

No se observó correlación entre el volumen específico de los panes y los módulos viscoso y elástico de las masas. Otros autores tampoco han encontrado una clara relación entre estos parámetros en elaboraciones de pan a base de harina de trigo (Autio et al, 2001; Wang y Sun, 2002). La fermentación es un paso muy importante en la elaboración del pan, en el que la

expansión de las burbujas de aire previamente incorporadas durante el batido de la masa, provoca la estructura de aire en el interior del pan. Sin embargo, la mayoría de los ensayos reológicos son llevados a cabo sin levadura y a temperatura ambiente (Dobraszczyk et al., 2003), como es el caso también de este estudio, lo que explicaría que estos parámetros no estén correlacionados.

Se ha observado que tanto la dureza como su incremento a día 1 de los panes está correlacionada positivamente de forma no lineal con el módulo viscoso, con el módulo elástico y con la viscosidad estacionaria de las masas, de manera que las masas con mayores valores de éstos módulos y de viscosidad estacionaria coincidían con las panes que presentaron mayor dureza y mayor incremento de dureza a día 1.

Se observa también, que la dureza y el volumen específico de los panes están correlacionados negativamente ($r = -0,74$; $p < 0,01$). Los panes con mayor volumen específico resultaron ser los que menor dureza presentaron. Esto se debe a que los panes con mayor volumen específico tienen más aire en su interior y por lo tanto son panes menos duros, y viceversa.

Se ha encontrado una correlación positiva ($r = 0,84$; $p < 0,001$) entre el incremento de dureza a día 1 y la viscosidad en estado estacionario, de manera que cuando uno aumentaba el otro también lo hacía. Esto indica que las masas más consistentes, más viscosas, conducen a panes con una vida útil más corta, que envejecen antes. Las masas más consistentes fueron las menos hidratadas, que a su vez fueron las que endurecieron antes.

Tabla 2. Correlaciones entre los distintos parámetros medidos

	G'_1	G''_1	$(\text{Tan } \delta)_1$	J_{0c}	J_{1c}	λ_{1c}	μ_c	Vol. Esp.	Dureza	Incr. Dureza 1-0	Lc	Densidad alveolar
G'_1		0,99***	-0,85***	-0,84***	-0,82***	ns	0,97***	ns	0,66**	0,75***	-0,53*	-0,53*
G''_1			-0,83***	-0,86***	-0,84***	ns	0,95***	ns	0,61*	0,72**	-0,55*	-0,54*
$(\text{Tan } \delta)_1$				0,70**	0,74**	ns	-0,84***	0,55*	-0,63**	-0,68**	ns	ns
J_{0c}					0,98***	ns	-0,77***	ns	ns	-0,53*	0,72**	ns
J_{1c}						ns	-0,76***	ns	ns	-0,51*	0,63**	ns
λ_{1c}							ns	ns	ns	ns	ns	ns
μ_c								-0,54*	0,76***	0,84***	ns	ns
Vol. Esp.									-0,74**	-0,66**	ns	ns
Dureza										0,97***	ns	ns
Incr. Dureza 1-0											ns	ns
Lc												ns
Densidad alveolar												

G'_1 : Módulo elástico; G''_1 : Módulo viscoso; $(\text{Tan } \delta)_1$: Tangente de pérdida; J_{0c} : Capacitancia instantánea; J_{1c} : Capacitación elástica retardada; λ_{1c} : Tiempo de retardo; μ_c : Viscosidad estacionaria. Estos últimos cuatro parámetros son los obtenidos del ensayo de deformación progresiva.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns: no significativo.

5. CONCLUSIONES

La incorporación de betaglucanos de avena en formulaciones de panes sin gluten tiene un efecto nutricional positivo. Sin embargo, este estudio demuestra que muchas de las propiedades tanto tecnológicas como texturales se ven alteradas por la inclusión de concentrados de OBG comerciales con escaso nivel de pureza y que es imprescindible optimizar la dosis de agua para minimizar sus efectos negativos sobre la calidad del pan. Se ha observado que la adición de OBG en las masas de pan sin gluten ha afectado a la ratio del módulo viscoso y el módulo elástico, debido a su capacidad de retención de agua, presentando masas más elásticas. La adición de OBG ha supuesto, salvo para la dosis máxima, un aumento del volumen específico de los panes, una corteza más luminosa y un tono más amarillento. Además, se ha observado un aumento en la vida útil, principalmente debido al incremento en la dosis de agua. Sin embargo, se ha comprobado la dificultad de alcanzar panes de suficiente calidad a partir de masas enriquecidas con un 3,9% de OBG en base harina. Esto probablemente pueda deberse a la escasa pureza de este concentrado de betaglucano, que obliga a añadir cantidades elevadas de otras sustancias que acompañan a la fibra en el producto comercial y que pueden afectar negativamente a la calidad del pan. Es por ello, que resultaría de gran interés continuar esta investigación empleando un producto de mayor pureza, si se desea aumentar la dosis de fibra hasta el valor máximo aplicado en este estudio. Sin embargo, se puede concluir que es posible elaborar panes sin gluten con OBG, de buena calidad y que cumplan con las recomendaciones de la EFSA en cuanto a ingestión de betaglucano, consiguiendo unos panes mejorados nutricionalmente sin detrimento de la calidad si se optimiza la cantidad de agua añadida a la masa. A partir de las ecuaciones de correlación establecidas en este estudio que permiten deducir las dosis de agua que conducen a los panes de mayor volumen y adecuada dureza, se puede establecer que para una dosis de 1,8% de OBG (dosis que cumple con las recomendaciones de la EFSA, suponiendo una ingesta de 250 g de pan al día) la dosis óptima de agua sería del 110% en base harina de arroz.

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). La autora de este trabajo agradece el apoyo y ayuda de Dña. Sandra Pérez Quirce a lo largo de todo el desarrollo de este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. AACC 2000. Approved Methods of the AACC. AACCI Method 44-19. Moisture – Air Oven Methods.
2. Ahlbom, G., Pike, O., Hendrix, S., Hess, W., Huber, C., 2005. Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads. *Cereal Chemistry* 82 (3), 328-335.
3. Andersson A., Armo E., Grangeon E., Frederiksson H., Andersson R., Aman P., 2004. Molecular weight and structure units of (1–3,1–4)- β -glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fractions. *Journal of Cereal Science*, 40, 195–204.
4. Arendt, E.K., Morrissey, E.K., Moore, M.M., Dal Bello, F., 2008. Gluten-free breads. En: Arendt E.K., Dal Bello F. (Ed.), *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Food Science and Technology, International Series. Elsevier, Oxford, 289-319.
5. Autio, K., Flander, L., Kinnunen, A., Heinonen, R., 2001. Bread quality relationship with rheological measurements of wheat flour dough. *Cereal Chemistry*, 78 (6), 654-657.
6. Brennan, C.S., Cleary, L.J., 2005. The potential use of cereal (1 \rightarrow 3,1 \rightarrow 4)- β -D-glucans as functional food ingredients. *Journal of Cereal Science*, 42, 1-13.
7. Cabrera-Chávez, F., Calderón de la Barca, A. M., 2010. Trends in wheat technology and modification of gluten proteins for dietary treatment of coeliac disease patients. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 337-341.
8. Cronin, C., Shanahan, F., 1997. Insulin-dependent diabetes mellitus and celiac disease. *Lancet*, 349 (9058), 1096-1097.
9. Cui, S.W., Wang, Q., Zhang, M., 2011. β -glucans, En: Williams, P.A. (Ed.) *Renewable Resources for Functional Polymers and Biomaterials*. RSC Polymer Chemistry Series, 319–345.
10. Delcour, J. A., Vanhamel, S. y Hosenev, R. C. 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.
11. Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., Sahin, S., 2010. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303.
12. Dobraszczyk, B. J. y Morgenstern, M. P. 2003. Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38, 229–245.
13. Edwards, N. M., Mulvaney, S. J., Scanlon, M. G., Dexter, J. E. 2003. Role of gluten and its components in determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal Chemistry*, 80, 755–763.
14. EFSA Panel on NDA. 2011a. 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) N° 1924/2006. *EFSA Journal*, 9 (6): 2207.

15. EFSA Panel on NDA: 2011b. Scientific opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans and maintenance of normal blood cholesterol concentrations (ID 754, 755, 757, 801, 1465, 2934) and maintenance or achievement of a normal body weight (ID 820, 823) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) N° 1924/2006. *EFSA Journal*, 7(9): 1254.
16. 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, 860-870.
17. Flander, L., Suortti, T., Katina, K., Poutanen, K. 2011. Effects of wheat sourdough process on the quality of mixed oat-wheat bread. *Food Science and Technology*, 44, 656-664.
18. Gambuś H., Sikora M., Ziobro R., 2007. The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free bread. In *ACTA Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 6 (3), 61-74.
19. Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., 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.
20. Hager, A.S., Ryam, L.A.M., Schwab, C., Gänzle, M.G., O'Doherty, J.V., Arendt, E.K., 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
21. Kim, H.J., White, P.J., 2012. In Vitro Digestion Rate and Estimated Glycemic Index of Oat Flours from Typical and High β -Glucan Oat Lines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 5237–5242.
22. Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R., y Juszcak, L., 2009. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23, 988–995.
23. Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., 2007. Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science*, 46, 101-118.
24. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C. G., 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79 (3), 1033-1047.
25. Pastuszka, D., Gambuś, 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.
26. Reglamento (CE) No 41/2009 de la Comisión de 20 enero 2009 sobre la composición y etiquetado de productos alimenticios apropiados para personas con intolerancia al gluten. 21.1.2009 Diario Oficial de la Unión Europea, L 16/3.
27. Ribotta, P. y Le Bail, A., 2007. Effect of additives the thermo-mechanical behaviour of dough systems at sub-freezing temperatures. *European Food Research and Technology* 224, 519-524.
28. Ronda, F. y Roos, Y.H., 2011. Staling of fresh and frozen gluten free bread. *Journal of Cereal Science*. 53, 340-346

29. 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.
30. Rosell, C. M., Rojas, J. A., Benedito de Barber, C., 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15. 75–81.
31. Rouille, J., Della Valle, G., Lefebvre, J., Sliwinski, E., vanVliet, T., 2005. Shear and extensional properties of bread doughs affected by their minor components. *Journal of Cereal Science*, 42(1), 45-57.
32. Sabanis, D., Lebesi, D., Tzia, C., 2009. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT Food Science and Technology* 42,1380–1389
33. Schoenlechner R., Mandala I., Kiskini A., Kostaropoulos A., Berghofer, E., 2010. Effect of water, albumen and fat on the quality of gluten-free bread containing amaranth. *Intern. Journal of Food Science and Technology*, 45 (4), 661-669.
34. Shimizu, C., Kihara, M., Aoe, S., Araki, S., Ito, K., Hayashi, K., et al., 2008. Effect of high β -glucan barley on serum cholesterol concentrations and visceral fat area in Japanese men-A randomized, doubleblinded, placebocontrolled trial. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63, 21-25.
35. Sivaramkrishnan, H. P., Senge, B. y Chattopadhyay, P. K., 2004. Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*, 62, 37–45.
36. Thomson, T., 2009. The nutritional quality of gluten-free foods. En: Gallagher, E. (Ed.), *Gluten-free food science and technology*. Wiley-Blackwell. New Delhi: 45-51.
37. Tiwari, U., Cummins, E., 2008. A predictive model of the effects of genotypic pre and post harvest stages on barley β -glucan levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2277-2287.
38. Tiliwari, U., Cummins, E., 2009. Factors influencing β -glucan levels and molecular weight in cereal-based products. *Cereal Chemistry*, 86 (3), 290-301.
39. Tiwari, U., Cummins, E., 2009. Simulation of the factors affecting β -glucan levels during the cultivation of oats. *Journal of Cereal Science*, 50, 175-183.
40. Tosh, S. M., Brummer, Y., Wolever, T. M. S., Wood, P. J., 2008. Glycemic response to oat bran muffins treated to vary molecular weight of β -glucan. *Cereal Chemistry*, 85, 211-217.
41. Van Bockstaele, F., De Leyn, I., Eeckhout, M., Dewettinck, K., 2011. Non-linear creep-recovery measurements as a tool for evaluating the viscoelastic properties of wheat flour dough. *Journal of Food Engineering*, 107 (1), 50-59.
42. Wang, F.C., Sun, X.S., 2002. Creep-recovery of wheat flour doughs and relationship to other physical dough tests and breadmaking performance. *Cereal Chemistry*, 79, 567–571.
43. Wang, L., Miller, R. A., Hosney, R. C., 1998. Effects of (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4)- β -D-glucans of wheat flour on breadmaking. *Cereal Chemistry*, 75, 629–633.
44. Weipert, D., 1990. The benefits of basic rheometry in studying dough rheology. *Cereal Chemistry*, 67, 311–317.
45. Wood, P.J., 2007. Cereal β -glucans in diet and health. *Journal of Cereal Science*, 46, 230-238.



ENRIQUECIMIENTO DE PANES SIN GLUTEN CON BETAGLUCANO DE AVENA

ANEXO 1

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso 2012/13

**Alumna: Ana Moraleja de la Iglesia
Tutora: Felicidad Ronda Balbás
Cotutor: Valentín Pando**

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

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

Tabla 1. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para los parámetros obtenidos del barrido de frecuencias, con sus respectivos errores estándar y radios del intervalo de confianza.

Ela	%OBG	%Agua	G' ₁ (Pa)	a	G'' ₁ (Pa)	b	(Tan δ) ₁	c
1	0	78	11465 j	0,2036 a	3561 i	0,2520 a,b	0,3107 a	0,0485 c,d
2	0	85	8182 h	0,2403 b,c,d,e	2851 h	0,2786 b,c,d,e	0,3485 c,d	0,0384 b,c
3	0	92	3774 e	0,2496 d,e,f	1474 e	0,2999 e,f	0,3913 f	0,0504 d
4	0	99	2306 c,d	0,3041 g	1037 d	0,3549 g	0,4498 i	0,0508 d,e
5	1,3	89	12205 k	0,2290 a,b,c,d	4114 j	0,2460 a	0,3372 b,c	0,0170 a
6	1,3	97	6368 f,g	0,2434 c,d,e	2321 g	0,2610 a,b	0,3644 d,e	0,0177 a
7	1,3	105	2870 d	0,2637 e,f	1127 d	0,2945 d,e,f	0,3926 f,g	0,0308 b
8	1,3	113	1871 b,c	0,2750 f	802 b,c	0,3113 f	0,4289 h	0,0363 b
9	2,6	100	10730 i	0,2131 a,b	3504 i	0,2467 a	0,3265 a,b	0,0336 b
10	2,6	109	5776 f	0,2272 a,b,c,d	2048 f	0,2659 a,b,c	0,3544 c,d	0,0387 b,c
11	2,6	118	2661 d	0,2168 a,b,c	1019 c,d	0,2706 a,b,c,d	0,3833 e,f	0,0538 d,e,f
12	2,6	127	1528 a,b	0,2280 a,b,c,d	627 a,b	0,2897 c,d,e,f	0,4118 g,h	0,0617 f
13	3,9	111	10905 i,j	0,2146 a,b	3446 i	0,2693 a,b,c,d	0,3159 a	0,0548 d,e,f
14	3,9	121	6698 g	0,2309 a,b,c,d	2333 g	0,2917 c,d,e,f	0,3483 c,d	0,0608 e,f
15	3,9	131	2739 d	0,2327 b,c,d	960 c,d	0,3079 f	0,3507 c,d	0,0752 g
16	3,9	141	1024 a	0,2634 e,f	410 a	0,3451 g	0,4007 f,g	0,0818 g
Error Estándar			230	0,0094	74	0,0093	0,0066	0,0035
Radio Intervalo Confianza			487	0,0169	156	0,0197	0,0140	0,0073

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

Tabla 2. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para los parámetros obtenidos de los ensayos de deformación progresiva y de relajación, con sus respectivos errores estándar y radios del intervalo de confianza

Ela	%OBG	%Agua	Ensayo de deformación progresiva				Ensayo de relajación			PR
			J_0 (Pa ⁻¹) (10 ⁻⁴)	J_1 (Pa ⁻¹) (10 ⁻⁴)	λ_1 (s)	μ_0 (Pa·s) (10 ⁴)	J_0 (Pa ⁻¹) (10 ⁻⁴)	J_1 (Pa ⁻¹) (10 ⁻⁴)	λ_1 (s)	
1	0	78	1,04 a	1,11 a	21,54 f	8,4 l	1,32 a	1,20 a	69,2 f,g	34,8
2	0	85	1,98 b,c	2,17 b	19,01 e	4,1 i	2,65 c,d	2,51 b,c	69,4 f,g	31,5
3	0	92	4,36 f	4,71 d	13,92 a	1,4 d	5,35 f	4,49 e	39,6 b	45,0
4	0	99	6,84 h	11,3 h	23,08 f	1,2 c	8,59 h	9,63 i	62,4 e,f	41,5
5	1,3	89	1,31 a,b	1,63 a,b	16,63 b,c,d	7,1 k	1,79 a,b	1,77 a,b	81,8 h,i	30,2
6	1,3	97	2,45 c,d	3,25 c	17,42 c,d,e	3,3 g	3,12 d	3,00 c,d	60,6	36,5
7	1,3	105	5,61 g	7,10 e	18,03 d,e	1,5 e	7,17 g	5,70 f	58,6 d,e	37,7
8	1,3	113	8,09 i	10,5 g	18,07 d,e	0,79 a	8,51 h	7,55 h	22,5 a	57,9
9	2,6	100	1,70 a,b	2,23 b	14,28 a	5,2 j	2,38 b,c,d	2,07 b	63,5 e,f	35,5
10	2,6	109	3,13 d,e	3,73 c	15,51 a,b,c	3,3 g	4,29 e	3,45 d	70,0 f,g	27,3
11	2,6	118	5,87 g	7,16 e	14,79 a,b	1,8 f	8,26 h	6,55 g	74,5 g,h	27,8
12	2,6	127	10,64 j	10,95 g,h	15,93 a,b,c,d	0,11 b	1,42 j	12,0 j	85,0 i,j	22,0
13	3,9	111	1,72 a,b,c	1,66 a,b	14,24 a	7,1 k	2,15 b,c	1,87 a,b	91,6 j	23,2
14	3,9	121	3,39 e	3,73 c	17,87 d,e	3,8 h	4,37 e	3,41 d	74,8 g,h	27,8
15	3,9	131	7,57 h,i	8,80 f	15,81 a,b,c,d	1,3 c	9,64 i	7,11 g,h	47,4 b,c	42,8
16	3,9	141	14,93 k	20,03 i	16,83 b,c,d,e	0,74 a	18,16 k	15,07 k	50,6 c,d	41,9
Error Estándar			0,25	0,24	0,76	0,030	0,28	0,27	2,8	3,3
Radio Intervalo Confianza			0,53	0,51	1,62	0,064	0,7	0,57	6,0	7,0

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; μ_0 : viscosidad estacionaria; PR: porcentaje de recuperación.

Tabla 3. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para el volumen específico, pérdida de peso, humedad de la miga y densidad alveolar

Ela	%OBG	%Agua	Volumen específico (ml/g)	Pérdida de peso (g)	Humedad de la miga (%)	Densidad alveolar (alveolos/cm ²)
1	0	78	1,8557 a	31,82 a	44,74 a	51,47 c,d
2	0	85	2,4462 g	31,82 a	47,09 b	28,00 a
3	0	92	2,8084 j	33,06 a,b	49,04 c	46,58 b,c
4	0	99	2,5059 h	34,07 b,c	50,77 d	47,91 b,c
5	1,3	89	2,1285 d,e	32,42 a	47,46 b	46,67 b,c
6	1,3	97	2,4879 h	36,52 d,e,f	49,24 c	61,60 e
7	1,3	105	2,5012 h	37,58 f	51,13 d,e	70,93 f
8	1,3	113	2,4804 h	35,54 c,d,e	52,81 f	61,87 e
9	2,6	100	2,1290 d,e	35,25 c,d	49,00 c	46,93 b,c
10	2,6	109	2,4530 g	35,81 d,e	51,25 e	57,47 d,e
11	2,6	118	2,5542 i	35,92 d,e	52,98 f	59,82 d,e
12	2,6	127	2,3117 f	37,96 f	54,89 g	58,31 d,e
13	3,9	111	2,1172 d	34,02 b,c	50,89 d,e	40,80 b
14	3,9	121	2,0429 c	35,68 d,e	52,80 f	57,87 d,e
15	3,9	131	2,1454 e	36,89 e,f	54,82 g	61,60 e
16	3,9	141	1,9520 b	36,62 d,e,f	56,46 h	53,60 c,d,e
Error Estándar			0,0095	0,55	0,13	3,02
Radio Intervalo Confianza			0,0190	1,10	0,28	6,16

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

Tabla 4. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para las propiedades del color, con sus respectivos errores estándar y radios del intervalo de confianza

Ela	%OBG	%Agua	Corteza						Miga					
			L*	C*	h (grados)		L*	C*	h (grados)					
1	0	78	53,07	b	31,06	c,d,e,f	59,83	a,b	71,58	i,j	11,02	f,g	91,31	b,c,d
2	0	85	52,90	b	31,15	d,e,f	58,64	a	66,13	a,b,c,d,e	7,67	a,b	93,85	g
3	0	92	53,56	b	30,24	c,d,e	59,81	a,b	64,40	a,b	7,00	a	93,05	e,f,g
4	0	99	53,65	b	29,65	b,c,d	61,80	c	67,40	c,d,e,f	7,62	a,b	90,99	a,b,c,d
5	1,3	89	56,70	c,d	36,15	j	64,85	e	68,64	f,g,h	10,53	e,f	92,91	e,f,g
6	1,3	97	55,94	c,d	35,36	i,j	64,82	e	64,48	a,b	8,85	c	94,05	g
7	1,3	105	54,67	b,c	33,36	g,h	63,54	d	67,88	d,e,f,g	8,62	b,c	91,97	c,d,e,f
8	1,3	113	60,30	e	33,80	h,i	68,18	g	69,62	g,h,i	8,62	b,c	93,29	f,g
9	2,6	100	50,23	a	29,57	b,c	58,71	a	64,73	a,b,c	11,55	f,g	90,32	a,b
10	2,6	109	52,94	b	30,25	c,d,e	60,95	b,c	68,26		9,17	c,d	92,24	d,e,f
11	2,6	118	57,91	d	33,45	g,h	63,33	d	65,52	a,b,c,d	9,07	c,d	91,79	c,d,e
12	2,6	127	64,07	f	32,03	f,g	70,61	h	66,75	b,c,d,e	9,97	d,e	90,68	a,b,c
13	3,9	111	57,18	d	31,96	f,g	66,27	f	63,82	a	10,91	e,f,g	89,85	a
14	3,9	121	60,90	e	31,75	e,f	68,50	g	69,91	g,h,i	11,19	f,g	91,12	a,b,c,d
15	3,9	131	63,71	f	28,59	b	73,72	i	73,57	j	11,73	g	90,94	a,b,c,d
16	3,9	141	63,55	f	24,36	a	76,63	j	70,62	h,i	10,70	e,f,g	89,85	a
Error Estándar			0,82		0,56		0,45		0,98		0,37		0,51	
Radio Intervalo Confianza			1,62		1,11		0,90		1,95		0,73		1,02	

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

Tabla 5. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para las propiedades texturales a día 0, con sus respectivos errores estándar y radios del intervalo de confianza

Ela	%OBG	%Agua	Dureza (N)		Elasticidad		Cohesividad		Masticabilidad (N)		Resiliencia	
1	0	78	9,8848	i	0,9199	a,b,c,d,e	0,5293	a	4,7164	i	0,2302	a
2	0	85	2,5122	e	0,9305	a,b,c,d,e,f	0,5387	a	1,2602	d,e	0,2675	b
3	0	92	1,1474	a	0,9178	a,b,c,d	0,5634	b	0,5936	a	0,2928	c
4	0	99	1,9864	c,d	0,9135	a,b,c	0,5641	b	1,0244	c,d	0,2802	b,c
5	1,3	89	4,2902	g	0,9287	a,b,c,d,e,f	0,6148	c,d	2,4492	g	0,4010	i,j
6	1,3	97	2,2187	d	0,9268	a,b,c,d,e,f	0,6307	d,e,f	1,2965	e	0,3981	h,i,j
7	1,3	105	2,0444	d	0,9248	a,b,c,d,e	0,6439	f,g	1,2178	d,e	0,4021	j
8	1,3	113	1,7380	b,c	0,9420	d,e,f,g	0,6532	g	1,0673	c,d,e	0,4016	i,j
9	2,6	100	4,8895	h	0,9631	g	0,6010	c	2,7970	h	0,3590	d,e
10	2,6	109	2,0337	d	0,9351	b,c,d,e,f	0,6375	d,e,f,g	1,1983	c,d,e	0,3815	f,g,h
11	2,6	118	1,2957	a	0,9040	a	0,6544	g	0,7665	a,b	0,3971	h,i,j
12	2,6	127	1,6283	b	0,9022	a	0,6475	f,g	0,9508	b,c	0,3834	g,h,i
13	3,9	111	3,1367	f	0,9530	f,g	0,6116	c,d	1,8181	f	0,3662	d,e,f,g
14	3,9	121	3,1398	f	0,9186	a,b,c,d,e	0,6318	d,e,f	1,8226	f	0,3776	e,f,g
15	3,9	131	2,9342	f	0,9453	e,f,g	0,6222	d,e	1,7245	f	0,3645	d,e,f
16	3,9	141	3,1674	f	0,9347	c,d,e,f	0,6231	d,e	1,8439	f	0,3512	d
Error Estándar			0,1029		0,0094		0,0073		0,0901		0,0065	
Radio Intervalo Confianza			0,2069		0,0189		0,0146		0,1811		0,0132	

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

Tabla 6. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para las propiedades texturales a día 1, con sus respectivos errores estándar y radios del intervalo de confianza

Ela	%OBG	%Agua	Δ Dureza (N)	Δ Elasticidad	Δ Cohesividad	Δ Masticabilidad (N)	Δ Resiliencia
1	0	78	19,57 i	-0,048 d,e,f,g	-0,2840 h,i	1,88 f	-0,1386 l
2	0	85	5,51 e	-0,020 f,g	-0,3113 f,g	0,56 a,b,c,d,e	-0,1914 j
3	0	92	2,60 a	-0,093 b,c,d	-0,3073 g	0,36 a,b	-0,2116 i
4	0	99	4,25 d	-0,094 b,c,d	-0,2858 h	0,71 b,c,d,e	-0,1747 k
5	1,3	89	8,46 g	-0,034 e,f,g	-0,3275 c,d,e	0,80 d,e	-0,2986 a
6	1,3	97	3,89 b,c,d	-0,109 b,c	-0,3256 d,e,f	0,23 a	-0,2950 a,b
7	1,3	105	3,43 a,b,c,d	-0,047 d,e,f,g	-0,2761 h,i	0,42 a,b,c	-0,2646 e
8	1,3	113	2,40 a	-0,113 b,c	-0,2680 i,j	0,25 a	-0,2501 f
9	2,6	100	9,96 h	-0,006 a	-0,3405 b,c,d	0,76 c,d,e	-0,2740 d
10	2,6	109	5,40 e	-0,168 a	-0,3687 a	0,37 a,b	-0,2877 b,c
11	2,6	118	2,91 a,b	-0,047 d,e,f,g	-0,3243 e,f	0,58 a,b,c,d,e	-0,2809 c,d
12	2,6	127	3,09 a,b,c	-0,081 b,c,d,e	-0,2599 j	0,55 a,b,c,d	-0,2386 g
13	3,9	111	7,26 f	-0,025 f,g	-0,3430 b,c	0,56 a,b,c,d	-0,2760 d
14	3,9	121	6,23 e,f	-0,062 c,d,e,f	-0,3466 b	0,38 a,b,c	-0,2769 d
15	3,9	131	4,05 c,d	-0,122 a,b	-0,2553 j	0,39 a,b,c	-0,2271 h
16	3,9	141	3,82 b,c,d	-0,095 b,c,d	-0,2073 k	0,94 e	-0,1774 k
Error Estándar			0,37	0,018	0,0054	0,13	0,0026
Radio Intervalo Confianza			0,79	0,038	0,0114	0,27	0,0055

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

Tabla 7. Valores medios y grupos homogéneos obtenidos para las propiedades texturales a día 7, con sus respectivos errores estándar y radios del intervalo de confianza

Ela	%OBG	%Agua	ΔDureza (N)	ΔElasticidad	ΔCohesividad	ΔMasticabilidad (N)	ΔResiliencia
1	0	78	39,63 j	-0,414 a	-0,4078 b,c,d	2,33 g,h	-0,1697 h
2	0	85	11,35 e	-0,156 b,c,d	-0,3367 f	1,15 c,d,e	-0,2035 g
3	0	92	6,58 a	-0,195 b,c,d	-0,3703 e	0,50 a,b	-0,2309 f
4	0	99	10,70 d,e	-0,197 b,c,d	-0,3694 e	1,00 b,c,d,e	-0,2189 f,g
5	1,3	89	18,61 h	-0,133 b,c,d	-0,4037 c,d	1,43 e,f	-0,3330 a
6	1,3	97	10,77 d,e	-0,218 b,c,d	-0,4176 b,c	0,66 a,b,c	-0,3216 a
7	1,3	105	9,54 c,d	-0,188 b,c,d	-0,4296 a,b,c	0,77 a,b,c,d	-0,3284 a
8	1,3	113	8,14 b	-0,217 b,c,d	-0,4369 a,b	0,47 a,b	-0,3253 a
9	2,6	100	21,31 i	-0,082 d	-0,3839 d,e	2,56 h	-0,2824 d,e
10	2,6	109	13,82 f	-0,218 b,c	-0,4190 b,c	1,29 d,e	-0,3035 b,c
11	2,6	118	6,31 a	-0,190 b,c,d	-0,4553 a	0,19 a	-0,3314 a
12	2,6	127	8,98 b,c	-0,119 b,c,d	-0,4240 a,b,c	0,91 b,c,d,e	-0,3053 b
13	3,9	111	18,18 h	-0,100 c,d	-0,3796 d,e	2,57 h	-0,2888 c,d
14	3,9	121	15,97 g	-0,097 c,d	-0,4037 c,d	1,88 f,g	-0,3005 b,c
15	3,9	131	13,87 f	-0,154 b,c,d	-0,4036 c,d	1,19 c,d,e	-0,2826 d,e
16	3,9	141	17,47 h	-0,247 b	-0,4212 b,c	1,12 c,d,e	-0,2694 e
Error Estándar			0,46	0,046	0,0105	0,20	0,0054
Radio Intervalo Confianza			0,98	0,097	0,0222	0,41	0,0114

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

B. GRÁFICAS NO EXPUESTAS EN LA MEMORIA

- Exponente “a” (Barrido de frecuencias): grado de dependencia del módulo elástico con la variación de la frecuencia.

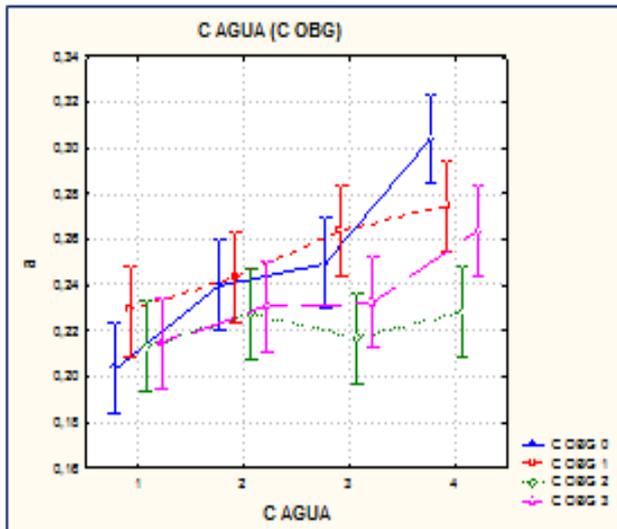


Figura 1a. Evolución del exponente a con la dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

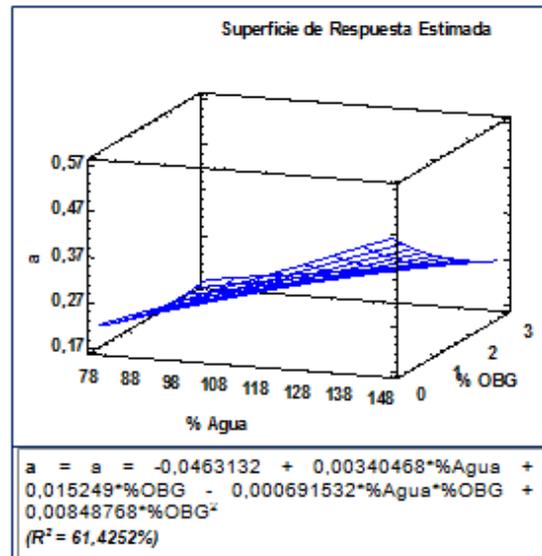


Figura 1b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el exponente a en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Exponente “c” (Barrido de frecuencias): grado de dependencia de la tangente de pérdida con la variación de la frecuencia.

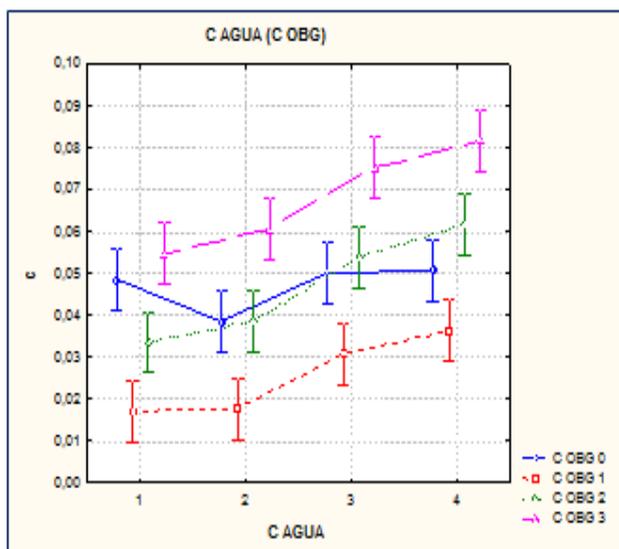


Figura 2a. Evolución del exponente c con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

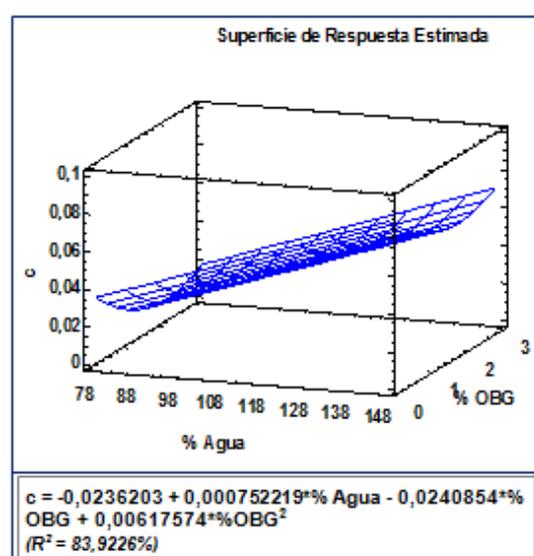


Figura 2b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el exponente c en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Tiempo de retardo (ensayo de deformación progresiva)

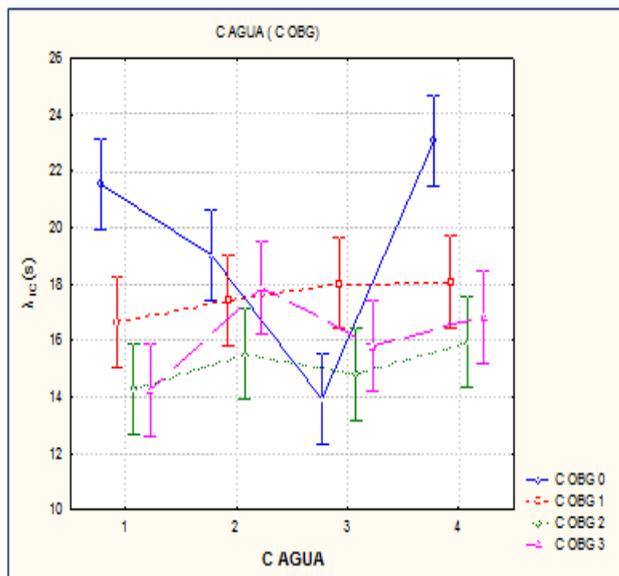


Figura 3a. Evolución del tiempo de retardo con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

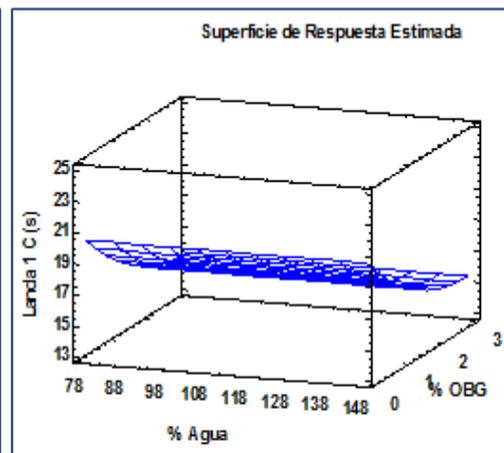


Figura 3b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el tiempo de retardo en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Capacitancia elástica instantánea (ensayo de relajación).

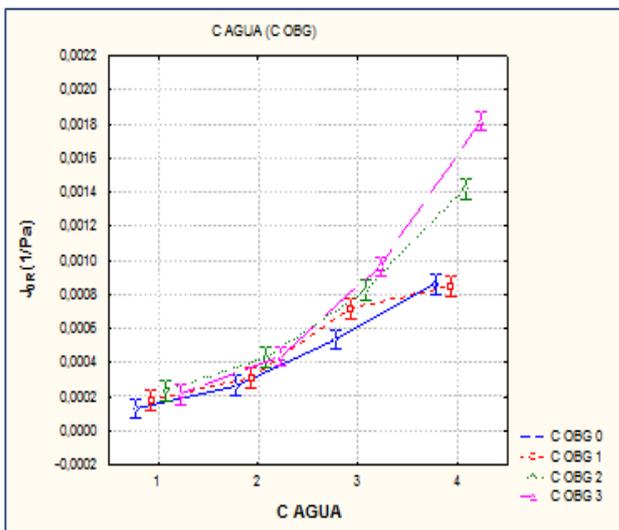


Figura 4a. Evolución del tiempo de la capacitancia elástica instantánea con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

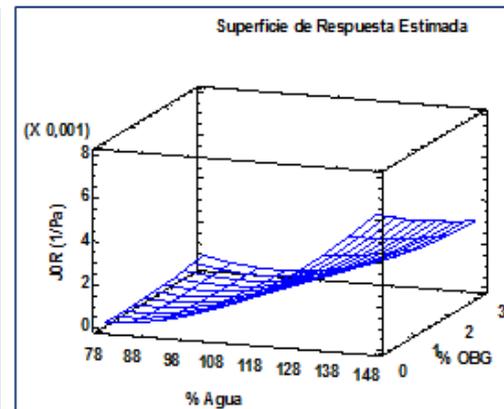


Figura 4b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la capacitancia elástica instantánea en función de la dosis de agua y de las dosis de OBG

- Capacitancia elástica retardada (ensayo de relajación).

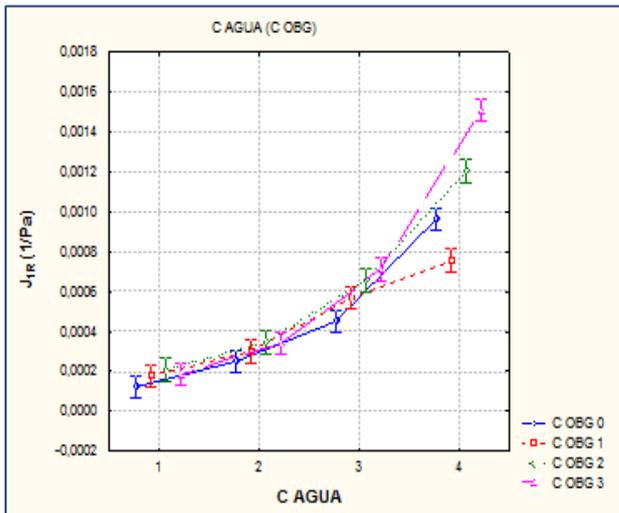


Figura 5a. Evolución del tiempo de la capacitancia elástica retardada con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

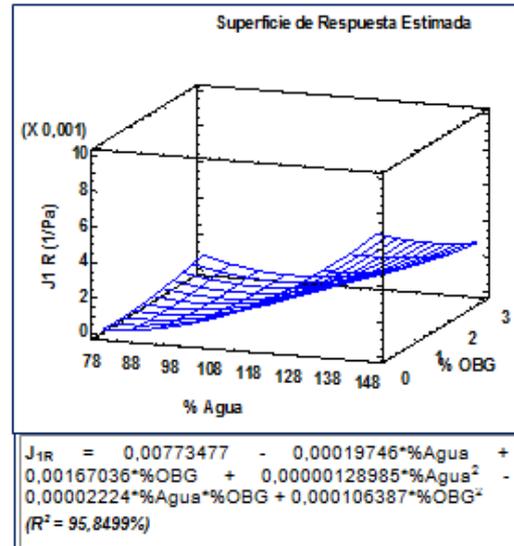


Figura 5b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la capacitancia elástica retardada en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Tiempo de retardo (ensayo de relajación).

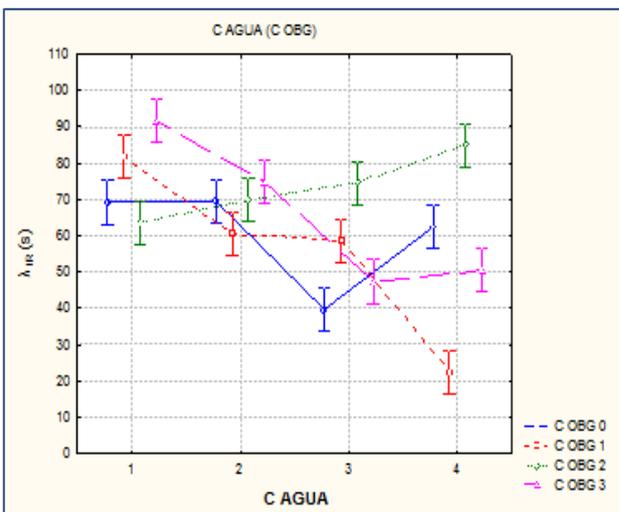


Figura 6a. Evolución del tiempo del tiempo de retardo con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

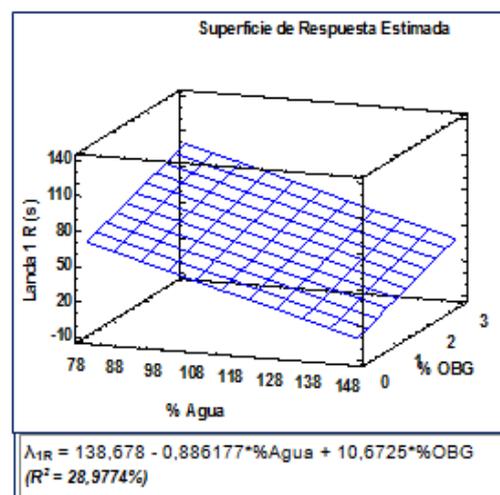


Figura 6b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el tiempo de retardo en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Elasticidad

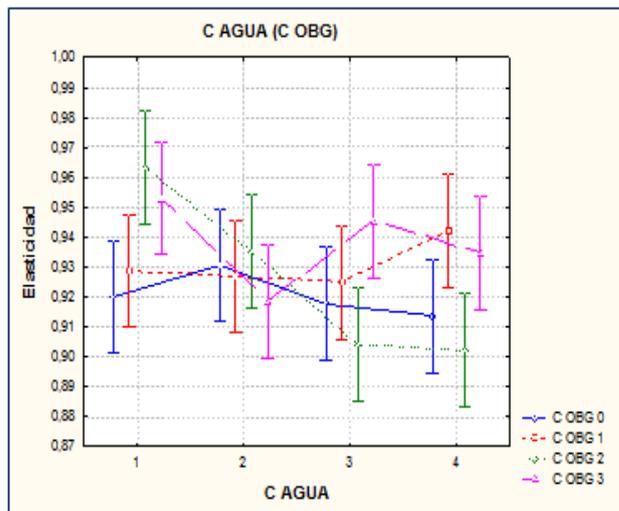


Figura 7a. Evolución de la elasticidad con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

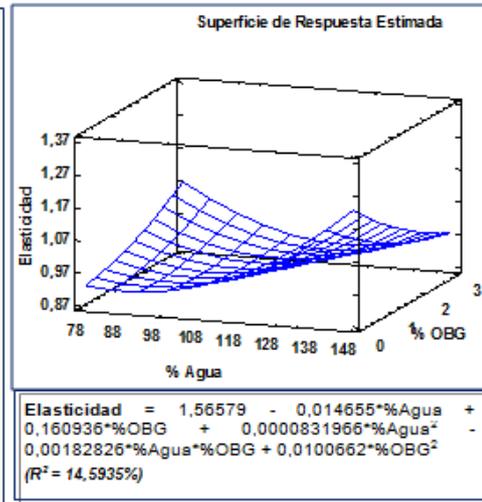


Figura 7b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la elasticidad en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Cohesividad

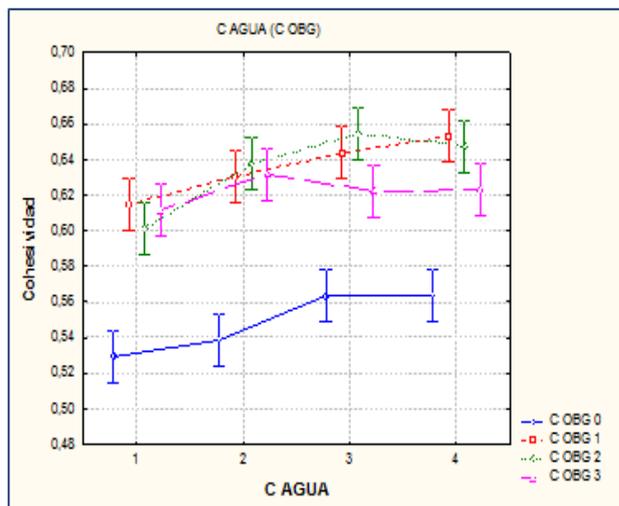


Figura 8a. Evolución de la cohesividad con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

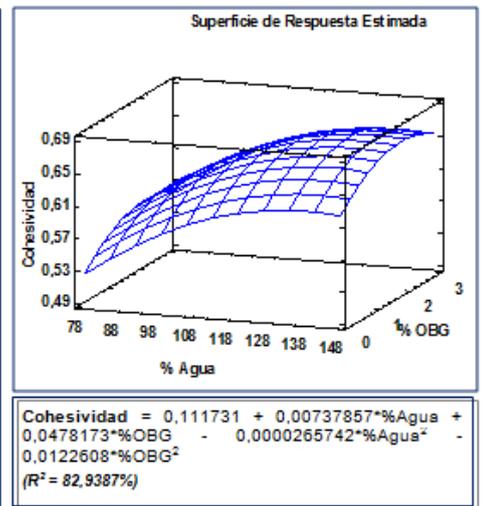


Figura 8b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la cohesividad en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Masticabilidad

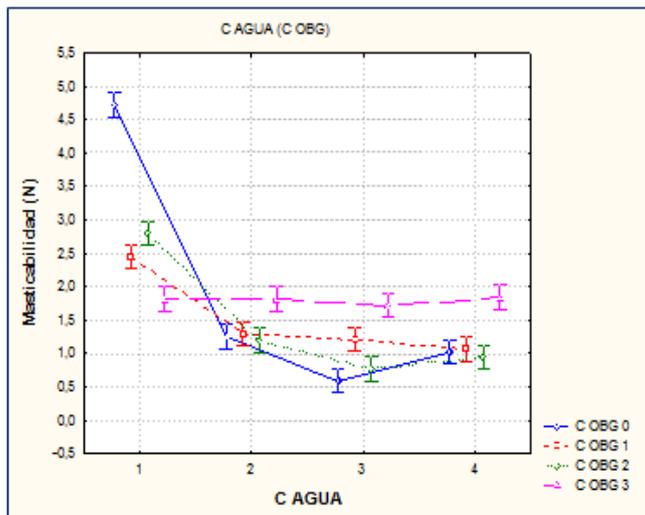


Figura 9a. Evolución de la masticabilidad con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

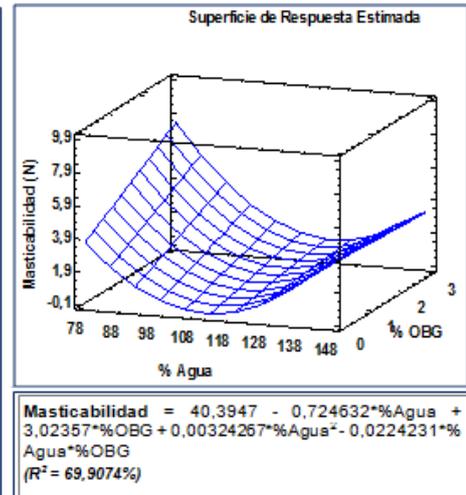


Figura 9b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la masticabilidad en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Incremento de elasticidad a día 1

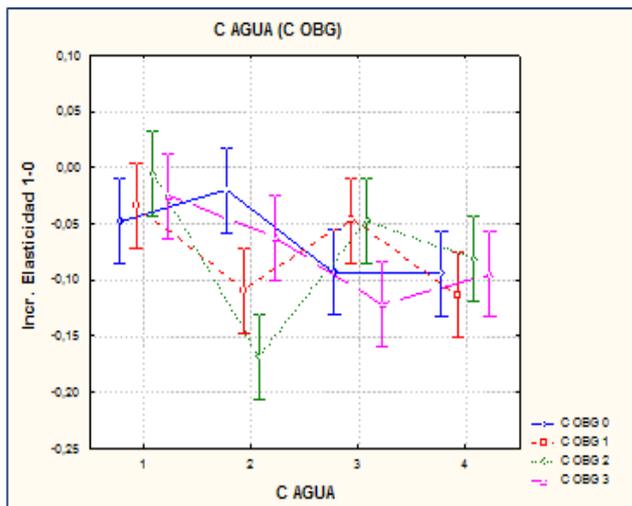


Figura 10a. Evolución del incremento de elasticidad a día 1 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

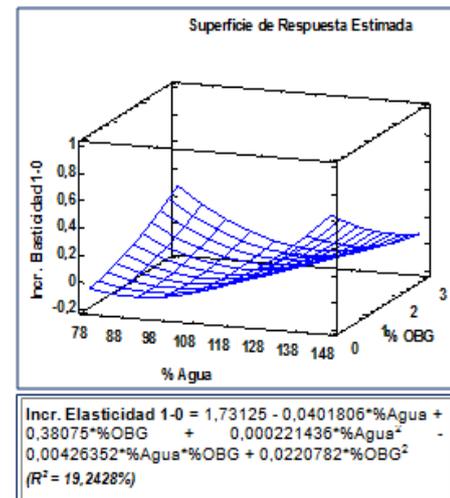


Figura 10b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de elasticidad a día 1 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Incremento de cohesividad a día 1

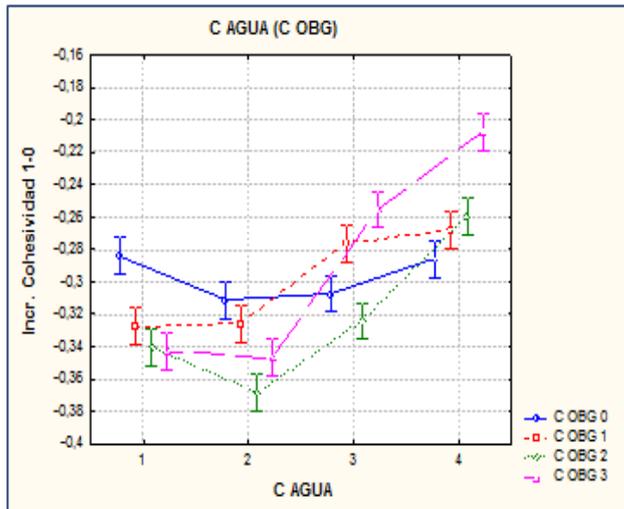


Figura 11a. Evolución del incremento de cohesividad a día 1 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

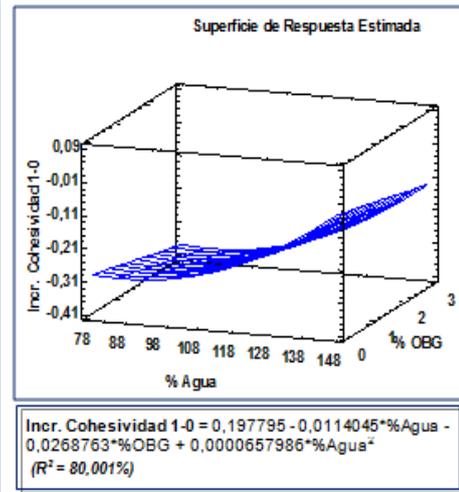


Figura 11b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de cohesividad a día 1 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Incremento de masticabilidad a día 1

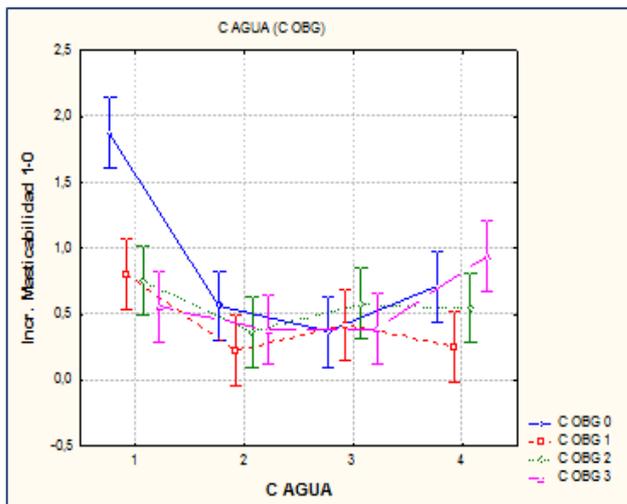


Figura 12a. Evolución del incremento de masticabilidad a día 1 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

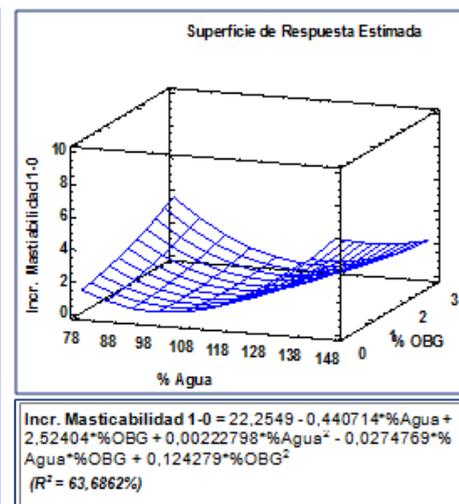


Figura 12b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de masticabilidad a día 1 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Incremento de resiliencia a día 1

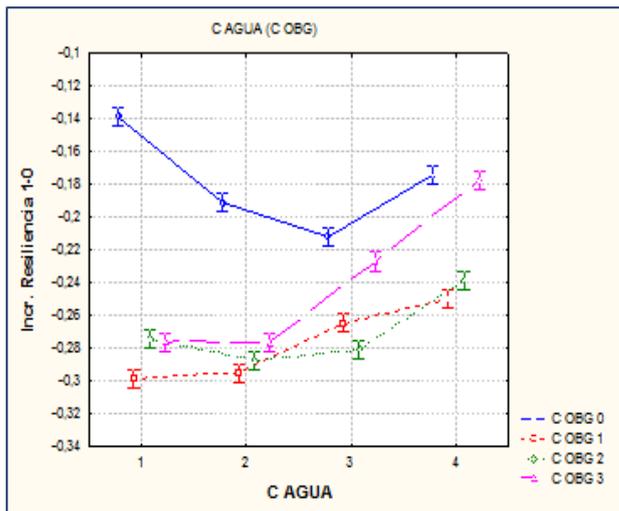


Figura 13a. Evolución del incremento de resiliencia a día 1 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

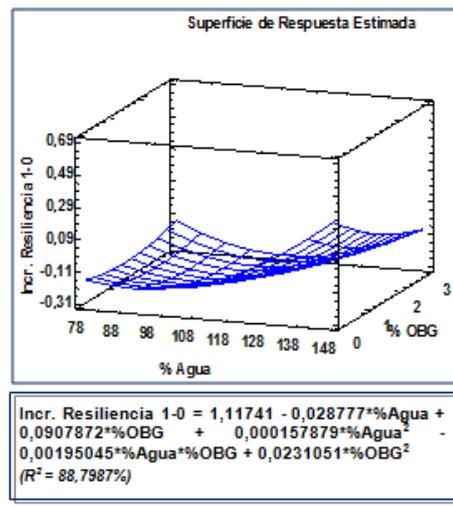


Figura 13b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de resiliencia a día 1 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Incremento de elasticidad a día 7

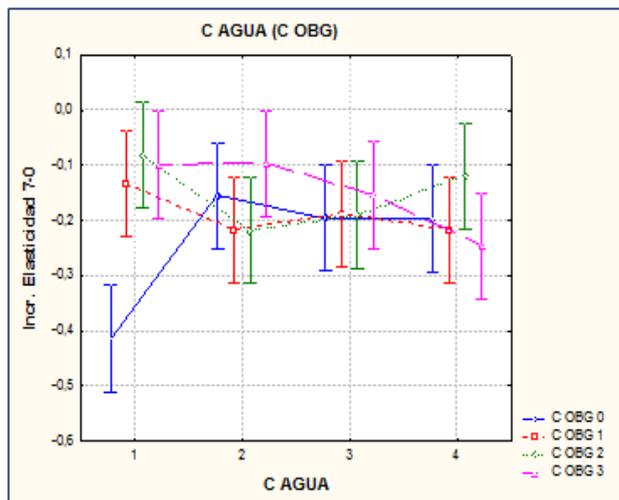


Figura 14a. Evolución del incremento de elasticidad a día 7 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

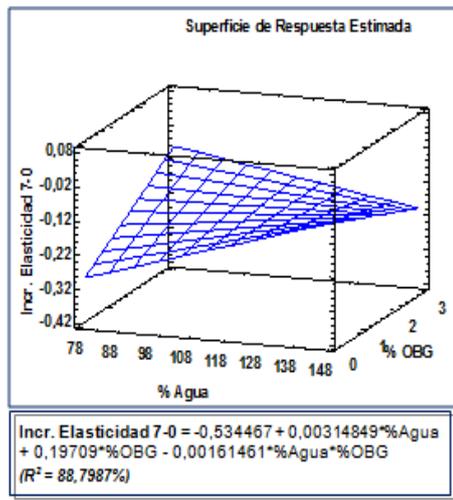


Figura 14b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de elasticidad a día 7 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Incremento de cohesividad a día 7

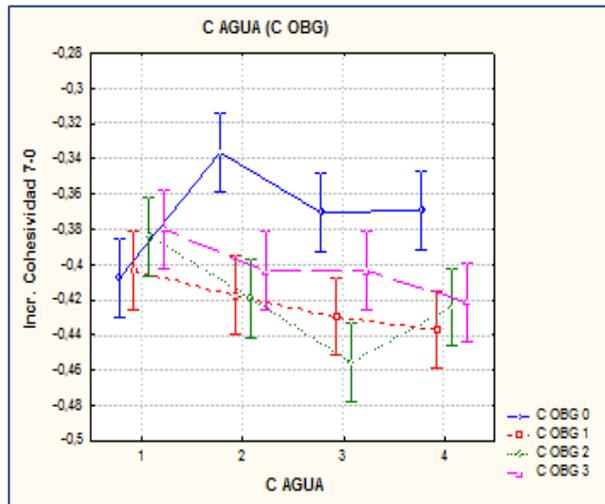


Figura 15a. Evolución del incremento de cohesividad a día 7 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

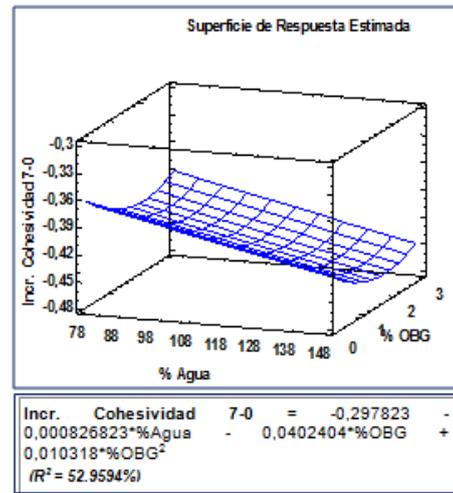


Figura 15b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de cohesividad a día 7 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Incremento de masticabilidad a día 7

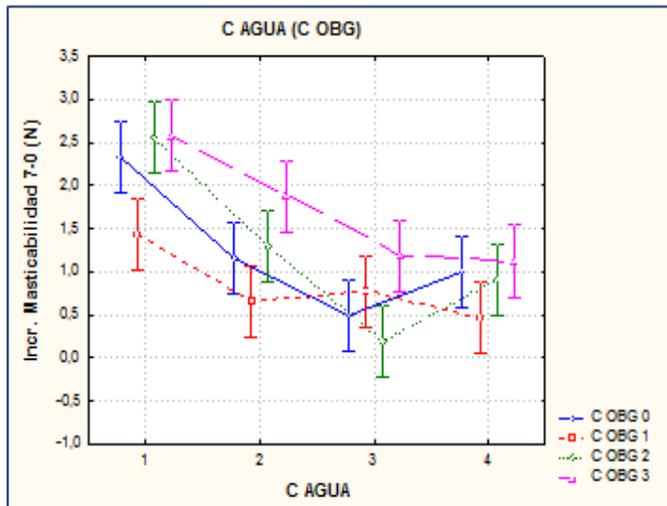


Figura 16a. Evolución del incremento de masticabilidad a día 7 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

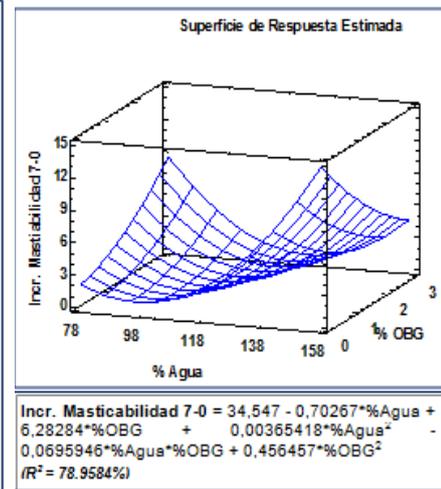


Figura 16b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de masticabilidad a día 7 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Incremento de resiliencia a día 7

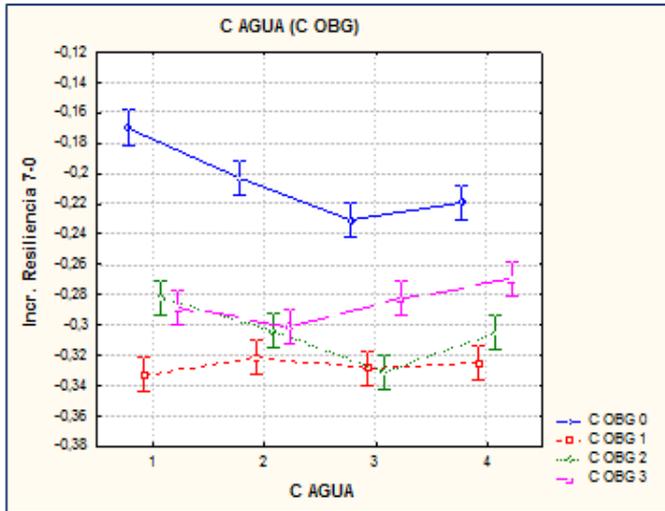


Figura 17a. Evolución del incremento de resiliencia a día 7 con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

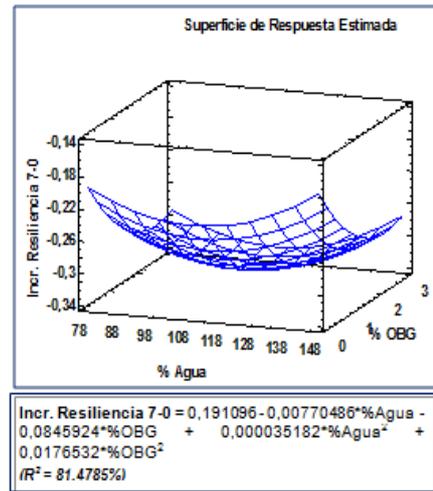


Figura 17b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el incremento de resiliencia a día 7 en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Tono (h) de la corteza

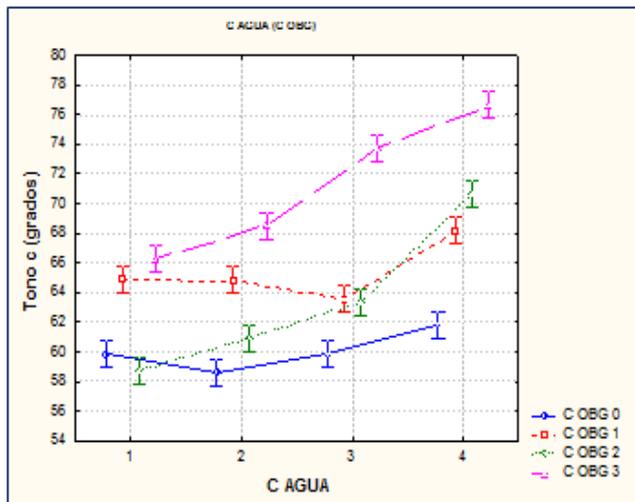


Figura 18a. Evolución del tono de la corteza con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

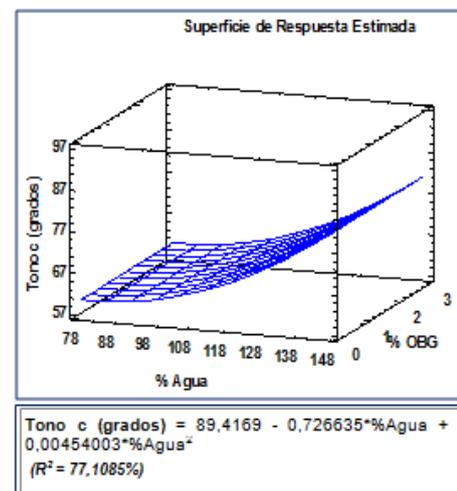


Figura 18b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el tono de la corteza en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Saturación o croma (C*) de la corteza

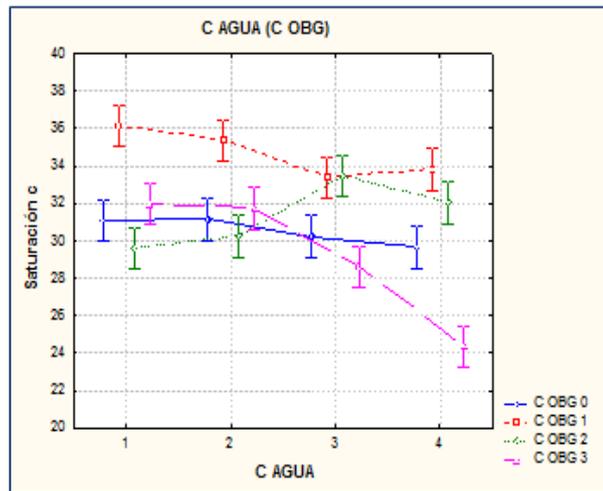


Figura 19a. Evolución de la saturación o croma de la corteza con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

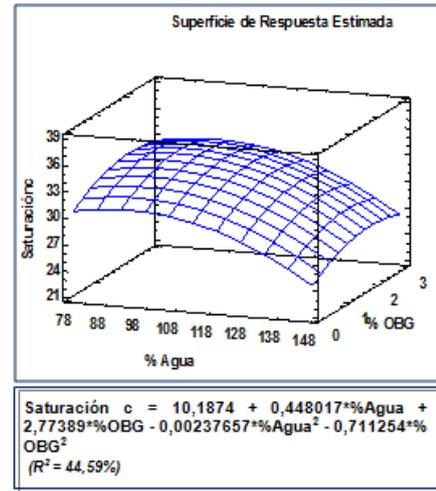


Figura 19b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la saturación o croma de la corteza en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Luminosidad (L*) de la miga

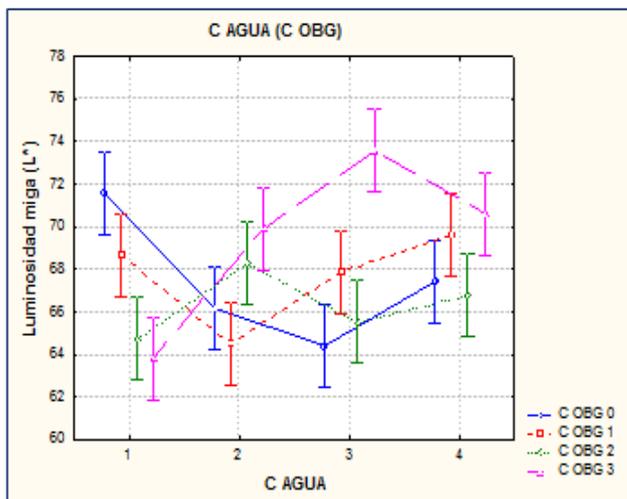


Figura 20a. Evolución de luminosidad de la miga con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

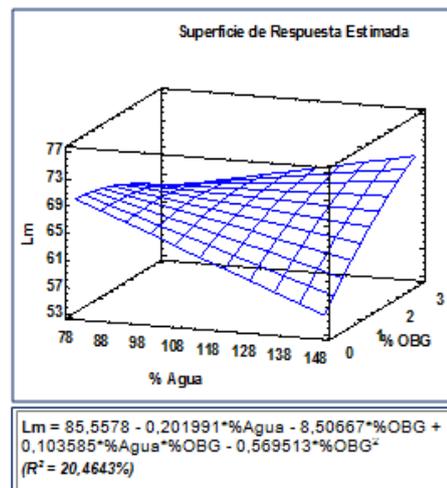


Figura 20b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la luminosidad de la miga función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Tono (h) de la miga

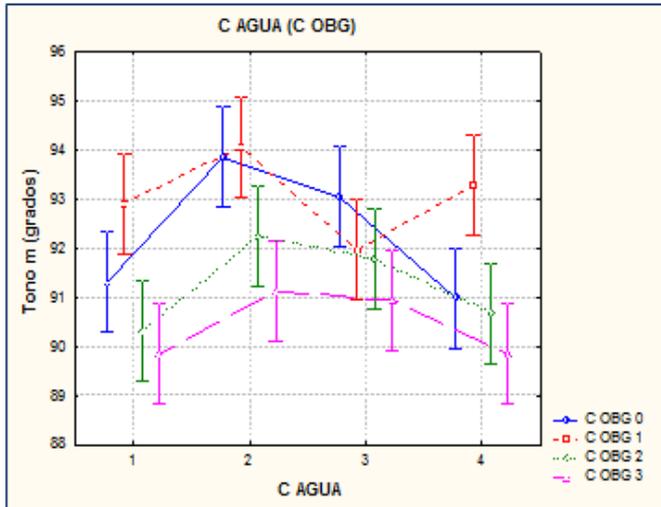


Figura 21a. Evolución del tono de la miga con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

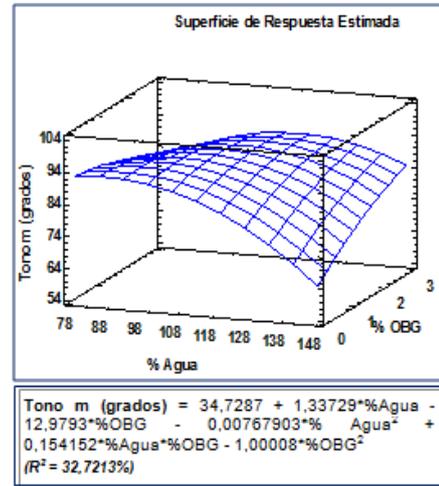


Figura 21b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para el tono de la miga en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Saturación o croma (C*) de la miga

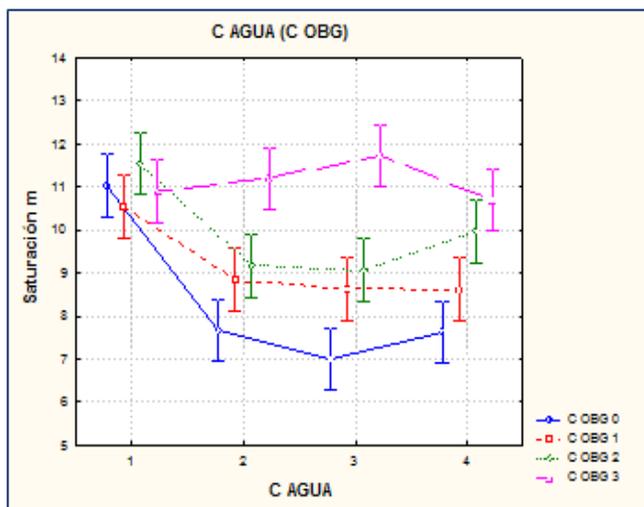


Figura 22a. Evolución de la saturación de la miga con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

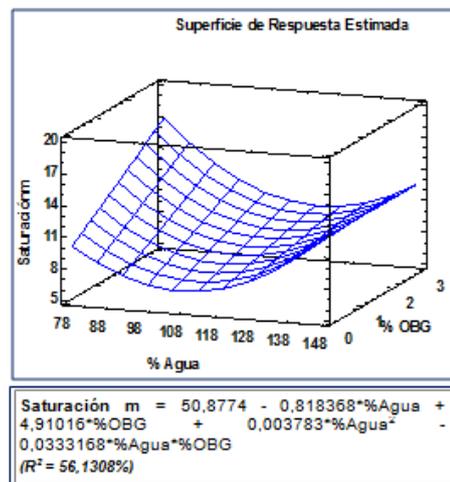


Figura 22b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la saturación o croma de la miga en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Humedad

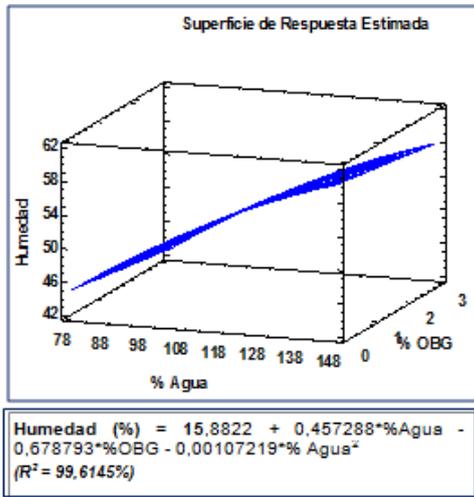


Figura 23b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la humedad de la miga en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

- Densidad alveolar

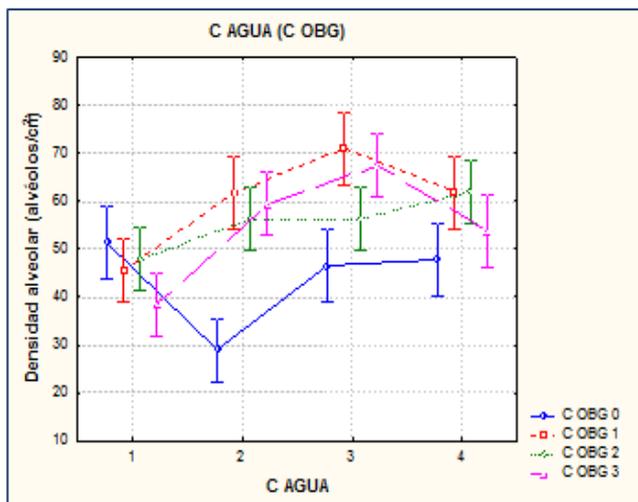


Figura 24a. Evolución de la densidad alveolar con las dosis de agua para las cuatro dosis de OBG añadidas

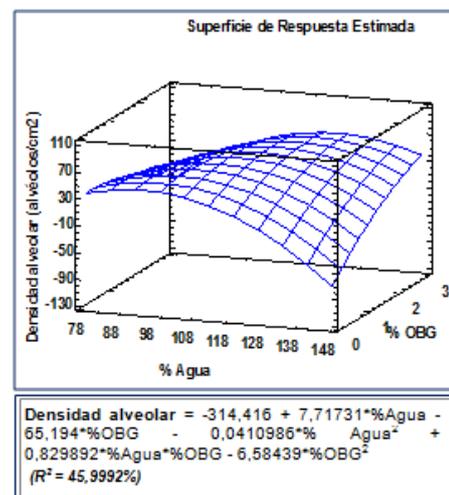


Figura 24b. Gráfica superficie respuesta y ecuación del ajuste para la densidad alveolar en función de la dosis de agua y de la dosis de OBG

C. FOTOGRAFÍAS DE LOS PANES

ELABORACIÓN 1: 0% BG DE AVENA - 78% AGUA



ELABORACIÓN 2: 0% BG DE AVENA - 89% AGUA



ELABORACIÓN 3: 0% BG DE AVENA - 92% AGUA



ELABORACIÓN 4: 0% BG DE AVENA - 99% AGUA



ELABORACIÓN 5: 1,3% BG DE AVENA - 89% AGUA



ELABORACIÓN 6: 1,3% BG DE AVENA - 97% AGUA



ELABORACIÓN 7: 1,3% BG DE AVENA - 105% AGUA



ELABORACIÓN 8: 1,3% BG DE AVENA - 113% AGUA



ELABORACIÓN 9: 2,6% BG DE AVENA - 100% AGUA



ELABORACIÓN 10: 2,6% BG DE AVENA -109% AGUA



ELABORACIÓN 11: 2,6% BG DE AVENA - 118% AGUA



ELABORACIÓN 12: 2,6% BG DE AVENA -127% AGUA



ELABORACIÓN 13: 3,9% BG DE AVENA - 111% AGUA



ELABORACIÓN 14: 3,9% BG DE AVENA - 121% AGUA



ELABORACIÓN 15: 3,9% BG DE AVENA - 131% AGUA



ELABORACIÓN 16: 3,9% BG DE AVENA - 141% AGUA

