

Efecto de la incorporación de fibras dietéticas en la calidad de panes para celíacos

Álvaro Díaz Malmierca

Área de Tecnología de los Alimentos, E.T.S. Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, 34004 Palencia, España

RESUMEN

La investigación en la elaboración de panes sin gluten está muy avanzada, siendo el déficit en micronutrientes de estos productos uno de los problemas sobre el que se está centrando la investigación. Uno de los nutrientes más deficitarios, y que más problemas causa sobre la salud de los pacientes celíacos es la fibra dietética. En este estudio se ha investigado el efecto que produce la adición de un 10% de diferentes fibras (avena (fina y gruesa), bambú (fina y gruesa), patata, guisante, povidex y NUTRIOSE®) sobre las características de los panes, la influencia de las fibras con las masas, además de analizar la microestructura de las fibras utilizadas. La incorporación de fibras solubles disminuye la viscosidad y aumenta el desarrollo de la masa durante la fermentación. Este hecho lo traducimos en un mayor volumen específico de los panes, siendo la povidex la que presentó mayor volumen y menor dureza. Por el contrario, la adición de fibras insolubles aumenta la viscosidad de las masas reduciendo su volumen y aumentando su dureza. Dentro de las fibras insolubles es importante observar que los panes elaborados con fibras de granulometría gruesa tienen menor volumen y mayor dureza que los elaborados con fibras de granulometría fina. Las fibras solubles también disminuyen la luminosidad de la corteza de los panes, siendo la povidex la que confiere un color más oscuro a la corteza.

Palabras clave: Fibra, pan sin gluten, calidad del pan, RVA, Reofermentómetro.

ABSTRACT.

The researching in breadmaking of gluten free bread has been improved along the years, but the low rates of micronutrients of these kinds of breads have become a problem that can be solved. The dietary fiber is one of these nutrients which used to produce healthy problems in celiac patients. The effect of enrichment with 10% of different kinds of fiber (oat (small size and big size), bamboo (small size and big size), potato, pea, polydextrose and NUTRIOSE®) over the quality of gluten free bread was investigated. The effect between the fiber and dough and the microstructure of the fiber was investigated too. The enrichment of gluten free bread with soluble fiber decreases the viscosity of the dough and improves the dough development during fermentation process, especially polydextrose. This means a high specific volume of the bread. In the other hand, the big size insoluble fiber allows a bigger development of the bread than small size insoluble fiber. Soluble fiber decreases the brightness of the crust, especially polydextrose.

Keywords: Fibre, gluten free bread, bread quality, RVA, Reofermentometer.

1. Introducción.

La enfermedad celíaca o celiacía es una enfermedad que causa severos daños en los individuos que la sufren. A veces confundida con una alergia, la enfermedad celíaca consiste en una hipersensibilidad a una cierta fracción proteica constituida por gluteninas y gliadinas. Cuando un paciente con celiacía consume dicha fracción proteica sufrirá daños en su tracto intestinal, siendo el único tratamiento la eliminación completa de gluten de la dieta de dichos pacientes (Hamer, 2005). Tanto la enteropatía adquirida como la permanente serán causadas por las gliadinas del trigo y por otras prolaminas como puede ser la secalina del centeno, la hordeína de la cebada y, posiblemente, la avenina de la avena (Vader, et al., 2003).

El mercado de los productos sin gluten va aumentando cada vez más debido a que la cantidad de enfermos celíacos diagnosticados cada vez es mayor. En estos momentos se estima que entre un 1-2% de la población mundial sufre hipersensibilidad al gluten (Reilly, et al., 2012). A pesar de este elevado número de pacientes y de que la investigación en este campo es muy amplia, uno de los puntos débiles de los productos elaborados sin gluten son sus deficientes niveles de ciertos nutrientes y micronutrientes esenciales. Esto implica que la dieta de los pacientes celíacos puede ser deficiente en micronutrientes, como vitaminas del grupo B, calcio, vitamina D, hierro, Cinc, magnesio y fibra (Kupper, 2005; Thompson, et al., 2005). A este hecho debemos añadir que los enfermos celíacos sin tratamiento tienen una deficiencia de hierro y de calcio. Esto es debido a una malabsorción de éstos micronutrientes en el intestino delgado proximal por la falta de microvellosidades intestinales originada por la hipersensibilidad al gluten (Selby, et al., 1999).

Uno de los problemas que presenta el déficit de fibra en la dieta de los pacientes celíacos es el estreñimiento (Urgesi, et al., 2013). Está comprobado que la fibra dietética en los pacientes que sufren de estreñimiento aumenta la frecuencia y el volumen de las deposiciones, y además no conlleva ningún efecto adverso (Yang, et al, 2012). Otro de los problemas de salud que pueden presentar personas con dietas bajas en fibra es el de mayor riesgo de padecer cáncer colorectal. El desarrollo de este tipo de cáncer puede estar influenciado tanto por factores genéticos como por factores ambientales, es por ello que la fibra dietética tiene un papel importante en la prevención del cáncer colorectal, debido al efecto sinérgico que establece con la microbiota del intestino grueso (Baffoni, et al., 2012). Otra de las complicaciones derivadas de la falta de fibra dietética en la dieta habitual, es la diverticulosis. Con la disminución de la fibra en la dieta, se aumenta la presión en el interior del colon y se

reduce la motilidad intestinal llegando a producir unas invaginaciones llamadas divertículos (von Rahden & Germer, 2012).

Aunque el estreñimiento y deficiencias de micronutrientes son claramente visibles en los enfermos celíacos, la población general también sufre estos problemas. De hecho, el enriquecimiento nutricional de panes elaborados con harinas que sí producen la malla proteica es una práctica habitual para corregir las deficiencias de nutrientes de la dieta de la población general, como bien se ha demostrado (Waters, et al., 2012). También se ha comprobado que el enriquecimiento con ciertos tipos de fibra puede llegar a ayudar a controlar el peso de cierto segmento de la población debido a su efecto saciante (Morris & Morris, 2012). Al ser una práctica habitual en otro tipo de panes, (Almeida, et al., 2013; Ktenioudaki, et al., 2013; Lappi, et al., 2013; Mis & Dziki, 2013), el enriquecimiento en fibra de panes sin gluten puede ayudar a los pacientes celíacos a contrarrestar cualquier déficit nutricional. Incluso, si estudiáramos el efecto saciante de la fibra, puede servir como control de peso para aquellas personas que lo necesiten.

Centrándonos en la deficiente cantidad de fibra dietética presente en los panes elaborados con harinas sin gluten, podemos asegurar que un buen vehículo para enriquecer estos productos, asemejándolos a los productos elaborados con harinas con gluten, son los productos de repostería y panadería (Matos Segura & Rosell, 2011). Aunque el mercado de productos exentos de gluten es amplio, no hay una amplia oferta de productos libres de gluten que además estén enriquecidos en diversos macro y micronutrientes con el fin de reducir el riesgo de déficits nutricionales (Kupper, 2005).

Una de las vías para enriquecer panes sin gluten con fibra ha sido la de suplementar dichos panes con inulina debido a que con este tipo de fibra se consigue mejorar la absorción de minerales y mejorar la estructura ósea de los enfermos celíacos (Scholz-Ahrens & Schrezenmeir, 2007). Krupa-Kozak (2012) estudió la posibilidad de enriquecer los panes sin gluten con inulina (3,9%) junto con varios tipos de sales cálcicas que, cada una, aportaba un 0.6% de calcio elemental dependiendo de la sal utilizada. Los panes enriquecidos con carbonato cálcico desarrollaron un mayor volumen específico, una corteza más suave y más elástica en comparación con la muestra control sin sales. Posteriormente se trató de identificar el efecto del grado de polimerización de la inulina cuando es suplementada en panes sin gluten, para la cual se utilizó una cantidad de inulina variable entre el 4.8 y el 12% (Ziobro, et al., 2013) En general, la sustitución con inulina independientemente del grado de polimerización,

dio como resultados unos panes con un mayor volumen, menor dureza, una miga menos uniforme y con poros más abiertos que en la muestra control. El resultado de este estudio desveló también que la importancia de que los panes enriquecidos con inulina desarrollaran unas propiedades físicas, como las anteriormente mencionadas, mejores que el control, radicaba en el correcto ajuste de las cantidades de agua de la fórmula. Este hecho se debe a que la inulina tiene diferente capacidad de retención de agua que otras fibras. En general, todos los estudios llevados a cabo sobre enriquecimiento de pan sin gluten con inulina, revelan unas propiedades tecnológicas mejores, menor dureza, un color de la corteza más tostado, mayor volumen específico, así como buenas puntuaciones en panel de catadores (Capriles & Areas, 2013; Hager, et al., 2011; Korus, et al., 2006), excepto cuando la inulina iba acompañada con fibra de soja (Diowksz, et al., 2009).

Sabanis (2009) llevó a cabo la posibilidad de enriquecer panes sin gluten con diferentes tipos de fibra (maíz, avena, trigo y cebada) de granulometría fina ($<32\mu\text{m}$) en diferentes concentraciones (3, 6 y 9%). Se comprobó que los panes con mayor volumen, una miga más suave, una corteza más crujiente y con un color oscuro más atractivo que en el pan utilizado como control, fueron los enriquecidos con fibra de maíz y de avena. Si bien, los que mejor puntuación de panel de catadores obtuvieron fueron los panes enriquecidos con fibra de maíz al 3%.

Otra vía de enriquecimiento con fibra de panes sin gluten, es la de añadir salvado de arroz con una concentración del 10% a los panes sin gluten elaborados con harina de arroz. Para este estudio se utilizaron tres fracciones diferentes de salvado de arroz (diferenciadas por la cantidad de proteínas y la cantidad de fibra dietética). Se consiguió elaborar panes con un volumen específico mayor, una miga más suave, un perfil de porosidad más homogéneo, además un color de corteza más tostado, además de comprobar que los panes enriquecidos con salvado de arroz aumentaban su vida útil (Phimolsiripol, et al., 2012).

El efecto de la fibra sobre panes sin gluten puede ser comparable al efecto que produce la fibra en bizcochos debido a que en ninguno de los dos casos tenemos malla de gluten. Se llevó a cabo un estudio en el que se analizaba el efecto de la granulometría de distintos tipos de fibra sobre bizcochos. Los resultados fueron positivos ya que se comprobó la viabilidad de elaborar bizcochos enriquecidos en fibra (mayor del 20%) con unas características organolépticas aceptables. Se comprobó a su vez que los bizcochos mejor valorados fueron los que se elaboraron enriquecidos con fibra de menor granulometría (Gomez, et al., 2010). Posteriormente se hizo un

estudio en el que se reemplaza un porcentaje mayor del 20% de harina con fibras de diferentes tipos (inulina, fibra de avena y mezcla de las dos) en el que se consiguen elaborar bizcochos enriquecidos nutricionalmente con menor disponibilidad de hidratos de carbono, exceptuando la inulina, bajo en grasas y con un perfil nutricional bajo en calorías y proteínas debido a la sustitución de la harina por fibra (Gularte, et al., 2012). Con lo que podemos asegurar que tanto la procedencia de la fibra como la granulometría de la misma influyen en la elaboración de productos panificables sin gluten.

En nuestro estudio se utilizarán seis tipos de fibras diferentes (fibra de bambú, de avena, de guisante, de patata, NUTRIOSE® y polidextrosa). Algunas de ellas con dos granulometrías diferentes.

La fibra de avena, la de bambú, la de patata y la de guisante están compuestas mayoritariamente por celulosa. Su estructura es la de un polímero lineal de D-glucosa que posee enlaces β 1-4 glucosídicos. Polisacárido estructural identificable en la pared de las células, este tipo de fibra se denomina insoluble debido a que la mayor parte de los mamíferos no tienen enzimas en su tracto digestivo capaces de hidrolizar dichos enlaces, y por lo tanto son incapaces de utilizarla. Si lleváramos a cabo un análisis por difracción de rayos X podríamos observar como las moléculas de celulosa se encuentran organizadas en haces de cadenas paralelas formando fibrillas. La naturaleza hidrofílica de las fibras celulósicas hace que las fibras absorban agua y se dispersen fácilmente. La capa externa de la pared celular de las fibras celulósicas al contacto con el agua va a iniciar un hinchamiento gelatinoso. Este proceso se debe a que la estructura se dilata en cuanto empieza la absorción de agua. En este proceso entran en juego las regiones microcristalinas, mientras que los cristales de α -celulosa no son penetrados por el agua (José Turrado, 2008).

Si la celulosa forma parte de la llamada fibra dietética insoluble, la polidextrosa es un polisacárido soluble en agua con enlaces aleatorios, bajo peso molecular y baja carga calórica. De síntesis artificial, la polidextrosa proviene de la polimerización de glucosa y sorbitol. La reacción de polimerización está catalizada por un ácido que puede ser el cítrico o el ácido fosfórico. En la polidextrosa encontramos una gran cantidad de enlaces, α y β 1-2, 1-3, 1-4 y 1-6, siendo este último la forma más predominante. La forma más común en la que se encuentra es en polvos ligeramente ácidos con la capacidad de ser fundidos (Burdock & Flamm, 1999; Flood, et al., 2004). Recientemente se ha estudiado su uso en el control de la saciedad (Astbury, et al., 2013).

Además de la povidex, utilizaremos otra fibra de síntesis denominada NUTRIOSE®. Esta fibra es una dextrina purificada por Roquette Frères (62080 Lestrem, Francia). Está formada por una mezcla de polímeros de glucosa con un grado de polimerización de 18, aproximadamente, cuyo peso molecular está dentro en un estrecho rango con media de 2600 g/mol. Durante el proceso de calentamiento se produce una hidrólisis del almidón y una repolimerización, cambiando los típicos enlaces α -1,4 y α -1,6 por unos enlaces que no se encuentran en el almidón nativo, α -1,2 y/o β -1,2; α -1,3 y/o β -1,3; y α -1,6 y/o β -1,6. En la polimerización se lleva a cabo un ajuste de la humedad del producto gracias a una catálisis ácida. Para la purificación se lleva a cabo una purificación con carbón activo y una desmineralización con resinas de intercambio. NUTRIOSE® contiene un 85% de fibra dietética (Guerin-Deremaux, et al., 2011; Vermorel, et al., 2004).

Hemos observado que es posible el enriquecimiento de panes con gluten, sin gluten y bizcochos, y que se haya demostrado que la granulometría de la harina es importante a la hora de la elaboración de panes sin gluten, siendo la mejor harina la que tenga granulometría más gruesa (de la Hera, et al., 2013). El propósito de nuestro estudio es observar cómo afecta la incorporación de diferentes tipos de fibras dietéticas sobre la calidad de panes para celíacos.

2. Material y métodos.

2.1 Materiales.

El principal ingrediente para la elaboración de los panes de nuestro estudio fue la harina de arroz suministrada por la harinera HARINAS PEÑARANDA S.A. (Peñaranda de Bracamonte, Salamanca, España). Se utilizó una harina de granulometría gruesa (>130 μ m). Además se utilizó almidón de maíz suministrado por Tate & Lile (Londres, Reino Unido), sal refinada seca (UNIÓN SALINERA DE ESPAÑA S.A., Madrid, España), agua procedente de la red local (Palencia, España), azúcar blanco (AB Azucarera Iberia S.L.U., Madrid, España), aceite de girasol refinado (LANGOSTA, Ciudad Real, España), hidroxipropilmetilcelulosa Methocel K4M RETTENMAIER & SÖHNE (Rosenberg, Alemania) y levadura European DOSU MAYA MAYACILIK A.S. (Istanbul, Türkiye).

Se utilizaron 4 tipos de fibras diferentes. Fibra de avena VITACEL HF 101 (longitud media de las fibras 50 μ m) y HF 200 (longitud media de las fibras 250 μ m) J. RETTENMAIER & SÖHNE (Rosenberg, Alemania), fibra de bambú VITACEL BAF 40

(longitud media de las fibras 50 μ m) y BAF 200 longitud media de las fibras 350 μ m) J. RETTENMAIER & SÖHNE (Rosenberg, Alemania), NUTRIOSE[®] FM 10 ROQUETTE (Lestrem, Francia), Polidextrosa C90 Tate & Lile (Londres, Reino Unido), Fibra de patata VITACEL J. RETTENMAIER & SÖHNE (Rosenberg, Alemania) y Fibra de guisante ROQUETTE (Lestrem, Francia).

2.2 Métodos.

2.2.1. Microscopía de barrido ambiental.

La microscopía de las fibras se llevó a cabo por microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM). El equipo utilizado fue un Microscopio ESEM (FEI, Quanta 200FEG, Oregón, USA), con un sistema de Microanálisis de Rayos-X integrado Génesis XM2i de EDAX.

2.2.2. Desarrollo de masas y producción de gas.

Para llevar a cabo este análisis se utilizó un Reofermentómetro (Chopin, Tripette and Renaud, Francia). Se analizó la altura que adquiriría la masa, la producción y liberación de gas en función del tiempo de fermentación de acuerdo al método descrito por (Czuchajowska & Pomeranz, 1993). Dado que nuestro estudio es sobre panes con harina que no produce gluten, se tuvieron que adaptar ciertos parámetros. En nuestro estudio únicamente se colocaron 200g de masa, se retiraron los 2Kg de pesas del pistón y, por último, se fermentó a 30°C añadiendo un 3% de levadura, como ya se citó en la elaboración de los panes.

2.2.3. Comportamiento viscoso de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento.

Para llevar a cabo este análisis se utilizó un equipo de RVA (Rapid Visco Analyzer) (Newport Scientific, Warriewood, Australia). La medición se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito en el método 61.02.01 (AACC, 2010). Éste método consiste en someter a la pasta a un calentamiento hasta 95°C, mantenerlo un tiempo a esa temperatura para después enfriar la pasta hasta los 50°C. El equipo va a registrar la viscosidad de la muestra.

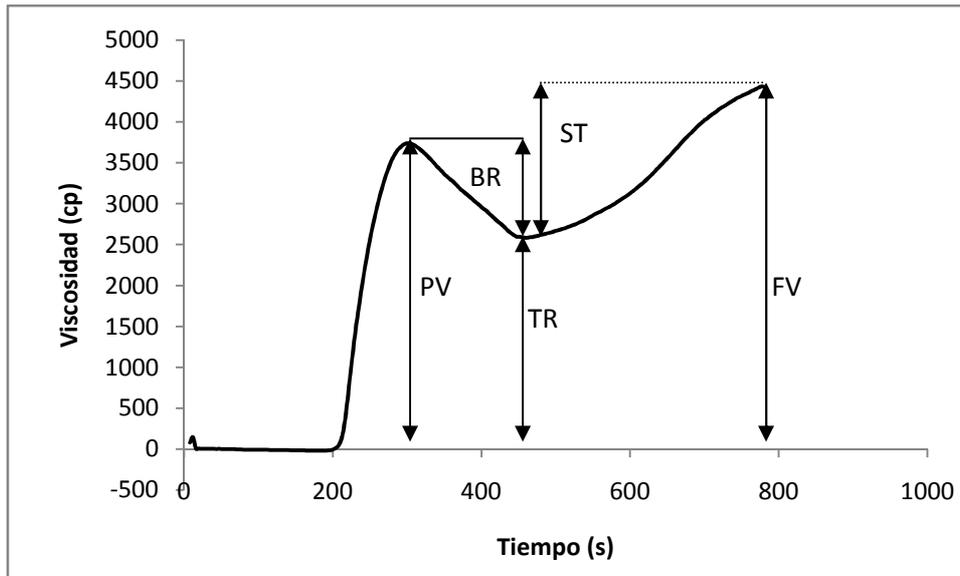


Figura 1: Parámetros que proporciona el equipo RVA en un ensayo de calentamiento-enfriamiento. Viscosidad máxima (PV), Estabilidad (BR), Viscosidad de caída (TR), Retrogradación (ST) y Viscosidad final (FV).

Las siglas que aparecen en la Figura 1 corresponden a la nomenclatura anglosajona referentes a los parámetros de viscosidad proporcionados por el equipo RVA. La viscosidad máxima (PV, peak viscosity) hace referencia a la viscosidad máxima alcanzada por la muestra durante todo el ciclo hasta que se produce la retrogradación del almidón. La estabilidad (BR, breakdown) es el valor resultante de restar la viscosidad de caída (TR, trough) e la viscosidad máxima (PV). La viscosidad de caída (TR) hace referencia al valor mínimo de viscosidad antes de la retrogradación (ST, setback). Este último parámetro, la retrogradación (ST), es la diferencia entre la viscosidad final (FV, final viscosity) y la viscosidad de caída (TR). El valor de la viscosidad de la muestra al final del ciclo se representa mediante la viscosidad final (FV).

2.2.4. Elaboración de los panes.

Para la elaboración del pan se utilizaron los siguientes ingredientes (g/100g en base harina-almidón (20%-80%)): agua (80g/100g), levadura seca instantánea (3g/100g), sal (1.8g/100g), aceite (10g/100g), HPMC (2g/100g) y azúcar (5g/100g). La temperatura del agua se controló a 20°C. Para el estudio se realizó una muestra control sin fibra, en todas las demás muestras se añadió una cantidad de 10g/100g de fibra.

Después de mezclar todos los ingredientes, excepto la levadura, batiremos la masa usando una batidora Kitchen Aid 5KPM50 (Kitchen Aid, Michigan, Estados Unidos) durante un minuto a velocidad uno. Después, se añadirá la levadura, previamente

hidratada, y se terminará de batir durante 8 minutos a velocidad 2. Las masas de pan se dividieron en porciones de 250g que se colocaron en moldes de aluminio de 232 mm de largo 108 mm de ancho y 53 mm de alto modelo 151090 (ALU-Schale, Wiklarn, Alemania). Los moldes rellenos fueron introducidos en una cámara de fermentación FC-K (Salva, Lezo, España) a 30°C y 90% de HR durante 60 minutos. Tras la fermentación se hornearon en un horno eléctrico modular (salva, Lezo, España) durante 40 minutos a 200°C. Después de un reposo de 50 minutos desde la salida del horno, los panes se desmoldaron y se empaquetaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a una temperatura de 20°C. Tras 24 horas, se llevaron a cabo las medidas de pérdida de peso, volumen, textura y color sobre los panes almacenados. Todas las mediciones fueron realizadas por duplicado.

2.2.5. Caracterización de los panes.

El volumen de cada pan fue determinado utilizando un analizador de volumen BVM-L 370 (TexVol Instruments, Viken Sweden). La textura de la miga fue medida por un TA-XT2 texture analyzer (Stable Microsystems, Surrey, UK) provisto con el software "Textura Expert". Para medir la textura se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio de 25mm en un ensayo de doble compresión "Texture Profile Analisis" (TPA) para penetrar 50% de profundidad, a 2mm/s de velocidad con un retardo de 30 segundos entre compresión y compresión. Se calculó la firmeza, cohesividad y elasticidad a partir del gráfico TPA (Gomez, et al., 2007). Las rebanadas utilizadas para el TPA tenían un espesor de 20mm, y fueron analizadas con un día y con ocho días tras la elaboración. Los análisis se realizaron sobre dos rebanadas de dos panes de cada elaboración (2x2). La medida del color fue realizada por un espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón) sobre la corteza y la miga. Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar D65 y observador estándar 2º, y se expresaron en el espacio de color CIE L*a*b*. Se realizaron mediciones sobre dos rebanadas de dos panes de cada elaboración (2x2). Cada medida estaba definida por una media de 5 mediciones proporcionadas por el equipo.

2.2.6. Análisis estadístico.

Antes de realizar cualquier tratamiento estadístico hemos verificado de forma objetiva la normalidad de los datos. El test de bondad utilizado fue el de Shapiro Wilks. Todos los datos fueron presentados como las medias de los valores obtenidos y analizados por un análisis de la varianza simple (ANOVA) utilizando el test LSD de Fisher ($p < 0.05$). Para llevar a cabo todo el análisis estadístico se utilizó el software Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, USA).

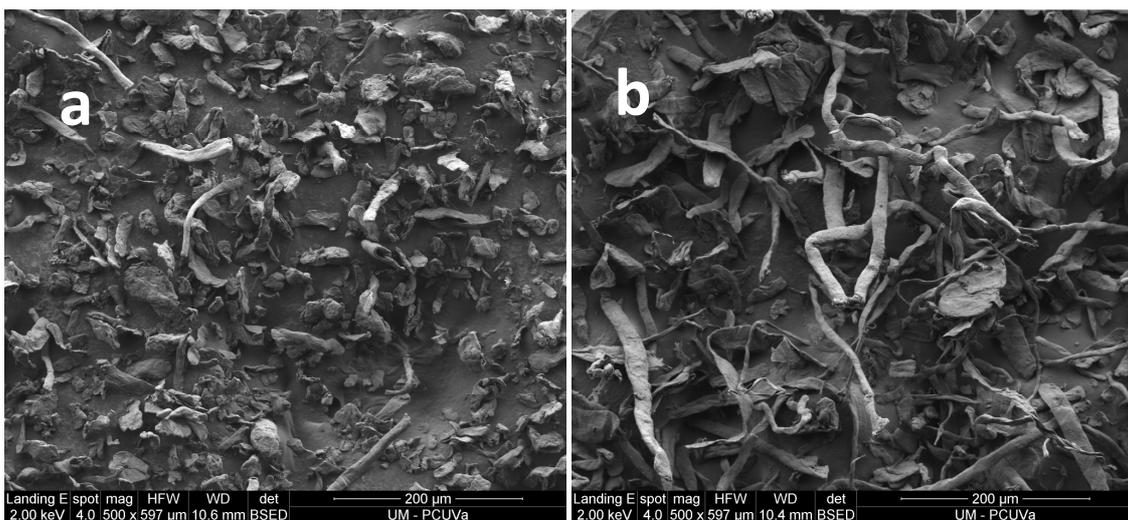
3. Resultados y Discusión.

3.1. Microscopía de la estructura de las fibras.

En la figura 2 podemos observar la microestructura de las diferentes fibras utilizadas en nuestro estudio. Se aprecia como las estructuras de las fibras de bambú (a) (b) y de avena (c) (d) tienen formas alargadas mientras que las fibras sintéticas como son la povidexrosa (e) y la NUTRIOSE® (f) tienen formas poliédricas, las primeras, y esféricas las segundas. Por último, tanto la fibra de guisante (g) como la de patata (h) poseen una forma granular.

Si nos centramos en la superficie de las fibras observamos como las fibras más alargadas tendrán una superficie de contacto con el agua mayor que las que tengan un tamaño menor. En la fibra de bambú es evidente esa diferencia, hecho casi imperceptible en la fibra de avena, donde apenas se distingue la longitud de las fibras. Las fibras de patata y guisante, además de tener un aspecto granular, presentan un tamaño de partícula mucho mayor, con una superficie de contacto también mayor que las fibras de bambú y avena. Comparando las dos fibras solubles, observamos como la NUTRIOSE® posee un tamaño mucho mayor que la povidexrosa.

En nuestro estudio nos referimos a la granulometría de las fibras como el tamaño de éstas. Al ser las fibras con forma alargada las únicas que tienen diferente tamaño, la granulometría se refiere a la largura de cada fibra.



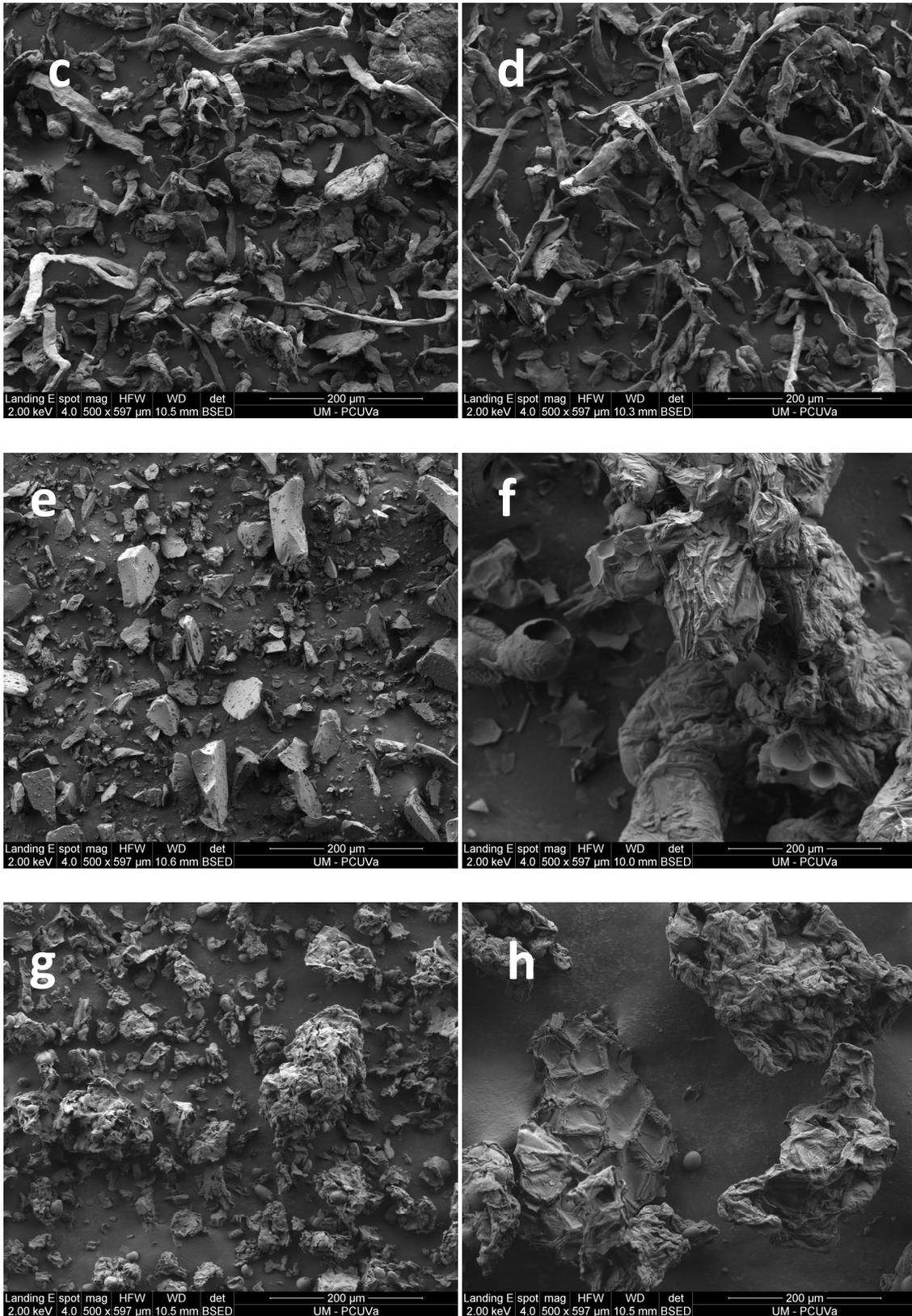


Figura 2: Micrografías de escaneado electrónico (2000x) (ESEM) (análisis realizado por triplicado y posterior selección de micrografías más representativas) de de diferentes orígenes y con diferentes granulometrías (avena y bambú). a) Fibra de bambú de granulometría fina, b) Fibra de bambú de granulometría gruesa , c) Fibra de avena de granulometría fina , d) Fibra de avena de granulometría gruesa , e) Polidextrosa, f) NUTRIOSE[®], g) Fibra de guisante, h) Fibra de patata.

3.2. Comportamiento viscoso de las harinas, en presencia de fibra, en un ciclo de calentamiento-enfriamiento.

En la tabla 1 y figura 3 se observan los parámetros analizados con el RVA, tanto las harinas que han experimentado una adición del 10 % de fibra como de la muestra control. Si nos centramos en la máxima viscosidad alcanzada (PV) podemos afirmar que hay diferencias entre los distintos tipos de fibra que utilizamos. Vemos como los valores de las fibras de patata y guisante son claramente superiores que las dos fibras solubles, aunque no observamos diferencias entre las dos fibras de bambú y avena y la muestra control. También podemos ver claramente como la fibra de patata y la de guisante tienen diferencias con los demás tipos de fibra y entre ellas mismas en los demás parámetros: estabilidad (BR), viscosidad de caída (TR), retrogradación (ST) y viscosidad final (FV), con unos valores claramente superiores sobre los demás tipos de fibras, siendo las fibras solubles las que obtuvieron menores valores de dichos parámetros. Si comparamos la granulometría de las fibras, observamos que no hay diferencias entre las granulometrías cuando las fibras usadas son las de avena, en cambio las fibras de bambú sí presentan diferencias estadísticamente significativas en parámetros como la estabilidad, la retrogradación y la viscosidad final. Es importante observar también que no se observan diferencias significativas cuando comparamos las dos fibras solubles (polidextrosa y NUTRIOSE®) entre ellas. Podemos observar cómo las harinas enriquecidas con fibras insolubles van a tener unos parámetros (PV, BR, TR, ST y FV) más elevados que las que han sido enriquecidas con fibras solubles, como ya observó (Huttner, et al., 2011),

Tabla 1: Comportamiento viscoso de harina de arroz, con una adición de 10% de fibra, tratada en un ciclo de calentamiento –enfriamiento.

Tipo de fibra	PV (cp)	BR (cp)	TR (cp)	ST (cp)	FV (cp)
PATATA	4389 e, f	1248 c, d	3141 c	2465,5 b, c	5606,5 c
GUISANTE	4454,5 f	1619 e	2835,5 b, c	2494,5c	5330 c
BAF200	4015,5 d, e	1409 d ,e	2606,5 a, b	2210,5 b	4817 b
HF200	3579,5 a, b, c, d	1036,5 a, b, c	2543 a, b	1796,5 a	4339,5 a, b
CONTROL	3441 a, b, c	1058,5 a, b, c	2382,5 a	1948,5 a	4331 a, b
BAF40	3822,5 c, d	1189,5 b ,c, d	2633 a, b	1909,5 a	4542,5 a, b
HF101	3738 b, c, d	1066 a, b, c	2672 a, b	1893 a	4565 a, b
Nutriose FM10	3261,5 a	909 a	2352,5 a	1852 a	4204,5 a
Polidextrosa C90	3363,5 a, b	999,5 a, b	2364 a	1926 a	4290 a

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

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de muestra

-PV = Peak viscosity; BR = Breakdown; TR = Trough; ST = Setback; FV = Final viscosity

. En la figura 3 podemos observar como las fibras de patata y guisante alcanzan valores de viscosidad máxima y de viscosidad final por encima del resto de fibras siendo las fibras sintéticas las que experimentan menor valor en dichos parámetros.

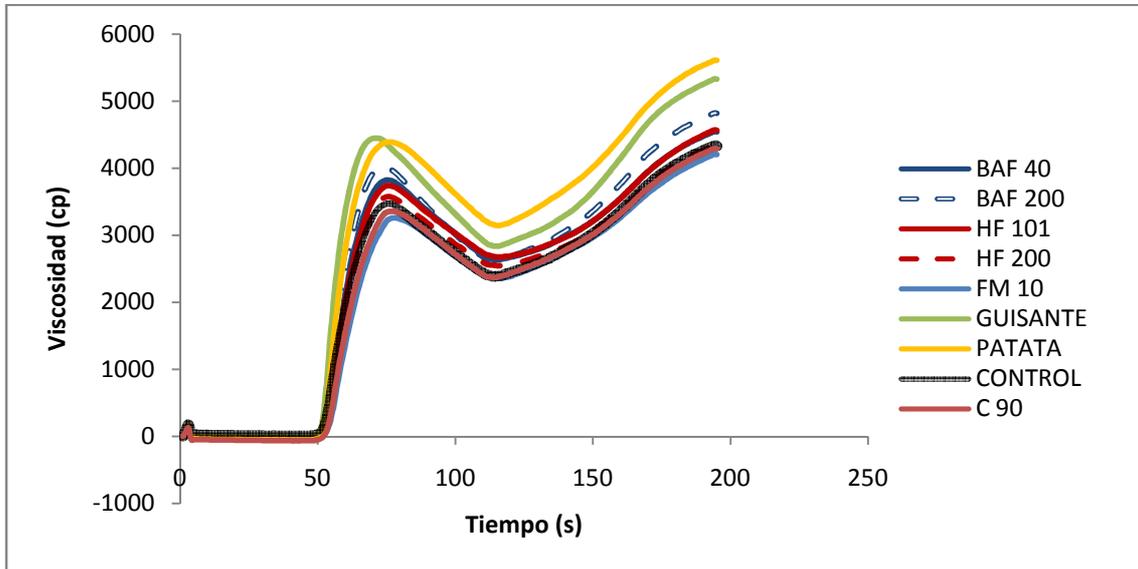


Figura 3: Comportamiento viscoso de las harinas, en presencia de fibra, durante un ciclo calentamiento-enfriamiento.

3.3. Desarrollo de las masas y producción de gas.

En la figura 4 y 5 podemos observar las curvas de desarrollo de las masas estudiadas y la retención de gas durante el proceso fermentativo, en las masas en que varía el tipo de fibra de adición. Podemos observar que todas las masas que sufren un mayor desarrollo durante el proceso fermentativo son las dos fibras solubles (polidextrosa y NUTRIOSE®). Si nos centramos en las fibras insolubles, vemos claramente como su desarrollo es significativamente menor, pero además, podemos apreciar cómo influye la granulometría de las fibras.

Apreciamos cómo las masas elaboradas con dos fibras con granulometrías diferentes (avena y bambú) experimentan un desarrollo desigual dependiendo del tamaño de la fibra utilizada. Vemos como las dos granulometrías siguen un desarrollo normal hasta la media hora de fermentación. En ese punto observamos como las masas elaboradas con fibras de granulometrías más finas son las que mayor desarrollo alcanzan quedando las masas con fibras de granulometría gruesa con una altura incluso menor que la muestra control.

En este sentido podemos afirmar que la solubilidad de las fibras influye en el hecho de que la altura de masa sea mayor. De hecho, las dos masas que alcanzan una mayor

altura son las dos en las que se ha añadido fibra soluble (polidextrosa y NUTRIOSE®). Esta situación contradice el hecho de que las fibras insolubles al retener mayor cantidad de agua producen un desarrollo de la masa (Bonnand-Ducasse, et al., 2010). Este hecho puede deberse a que en este estudio la cantidad de fibra con la que se enriquecieron los panes superaba el 10% utilizado en nuestro estudio, además de que las propiedades físicas de los panes con gluten son muy diferentes a las propiedades de los panes sin gluten.

Donde no encontramos diferencias significativas es en la producción de gas. Sí que observamos como las dos fibras solubles producen una mayor cantidad de gas pero no son diferencias claramente apreciables. El hecho de la altura puede deberse a que todas las fibras tienen una producción de gas muy parecida, pero las fibras solubles tienen una capacidad de retención de gas mayor que las fibras insolubles, como bien se puede apreciar en la figura 5.

Esta mayor retención de gas se traduce en un volumen mayor de masa al final del proceso fermentativo.

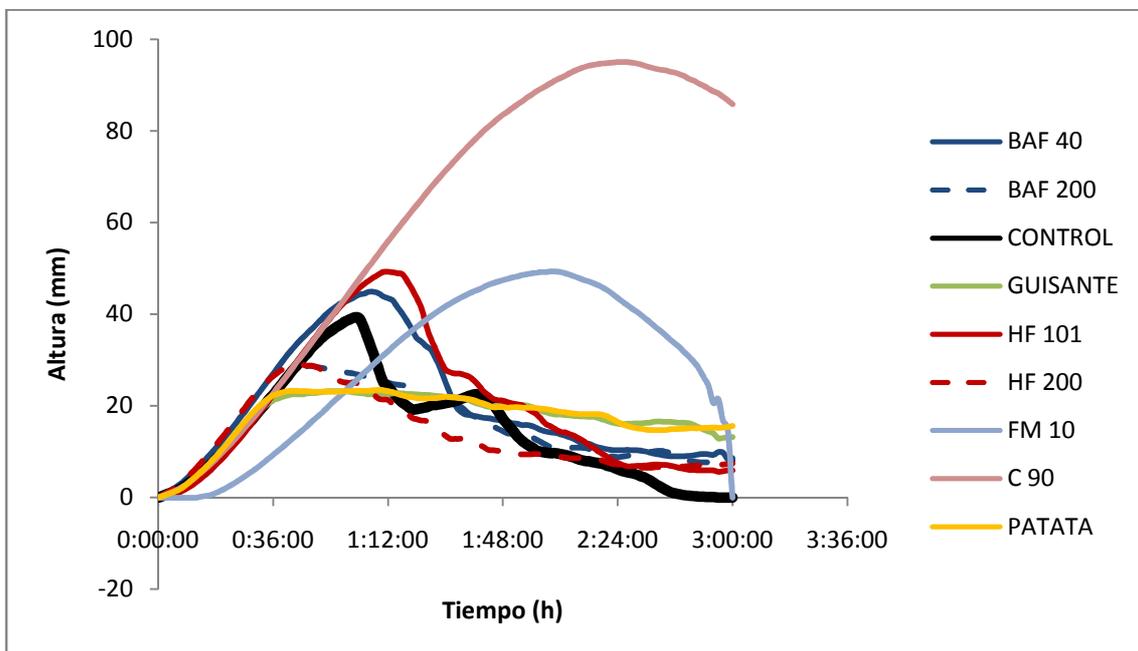


Figura 4: Altura de la masa durante el proceso fermentativo.

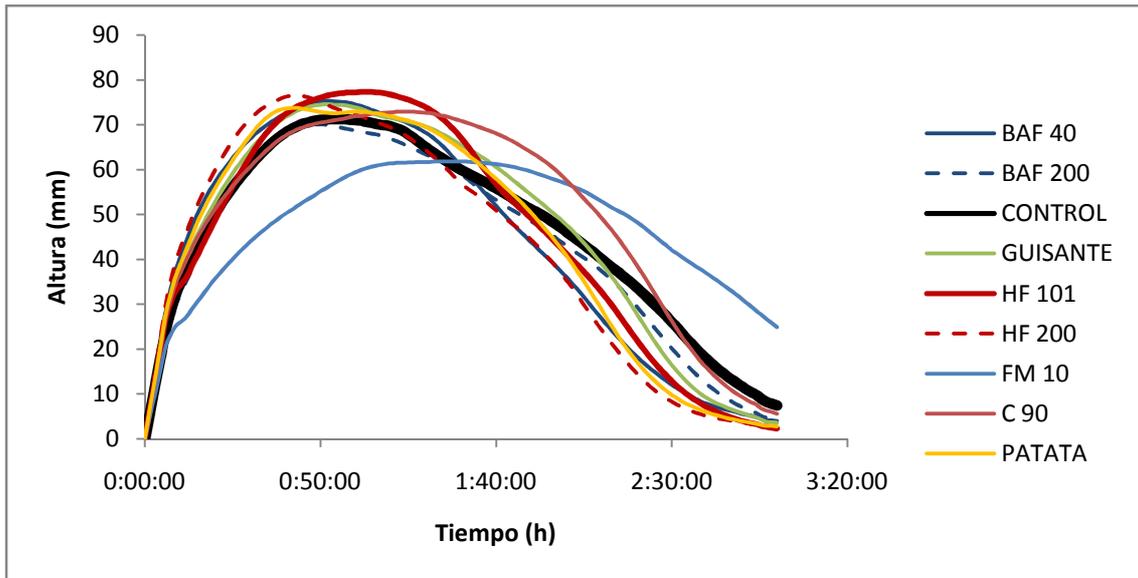


Figura 5: Curvas de retención de gas durante el proceso fermentativo

3.4. Propiedades del pan.

3.4.1. Volumen específico y pérdida de peso.

En la tabla 2 podemos observar el volumen específico de los panes elaborados con diferentes tipos de fibra a una cantidad constante de adición de la misma.

Tabla 2: Pérdida de peso de los panes tras el horneado y volumen específico de los panes.

Tipo de fibra	Pérdida de peso (g)	Volumen específico
PATATA	44,32 a	2,49626 a
GUISANTE	47,505 a, b, c	2,77413 a, b
BAF200	45,28 a	2,75168 a, b
HF200	46,225 a, b	2,85754 b
CONTROL	51,39 c, d	3,30758 c
BAF40	50,365 b, c, d	3,81647 d
HF101	48,7 a, b, c	3,89247 d
Nutriose FM10	51,345 c, d	4,25398 e
Polidextrosa C90	55,185 d	5,09059 f

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ($p < 0,05$).
 -Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de masa

Se comprueba que los panes elaborados con fibras insolubles tienen un volumen específico menor que los que han sido elaborados con fibras solubles. En estudios anteriores se demostró que utilizando también fibra soluble, como la inulina (Capriles & Areas, 2013) y la porción soluble del salvado de arroz (Phimolsiripol, et al., 2012), se

consiguieron elaborar panes con mayor volumen específico. Además podemos comprobar cómo Hager (2011) elaboró panes sin gluten utilizando dos tipos de fibra diferentes, inulina y fibra de avena, a diferentes concentraciones de adición. En su ensayo se obtuvieron panes con mayor volumen cuando la fibra añadida fue la inulina, y con menor volumen cuando fue añadida fibra de avena. Dentro de los panes elaborados con fibras solubles, observamos diferencias claras entre el volumen adquirido por el pan elaborado con NUTRIOSE® y el que ha sido elaborado con polidextrosa. En este caso el pan elaborado con la adición de polidextrosa alcanzó un volumen específico mayor. Este hecho lo podemos relacionar inversamente con la viscosidad y el desarrollo de las masas. Cuanto mayor es la viscosidad y mayor es la altura alcanzada por la masa durante el proceso fermentativo, menor volumen específico alcanzarán los panes elaborados con fibras solubles.

Si relacionamos el volumen específico con el desarrollo de la masa durante el proceso fermentativo podemos afirmar que las masas con menor volumen específico (fibras insolubles y muestra control) sufren la caída del volumen durante el proceso fermentativo no durante el horneado. Este hecho no ocurre con las fibras solubles que son las que adquieren un mayor volumen durante el proceso de fermentación y posterior horneado.

En cuanto a la granulometría, podemos observar que, dentro de las fibras insolubles, a mayor granulometría de la fibra los panes elaborados adquieren menor volumen específico, independientemente de su procedencia. Este hecho se contradice con lo que Gómez (2010) observó, cuya explicación puede deberse a la geometría de las fibras, ya que en nuestro caso son fibras alargadas no esféricas. En cuanto a la pérdida de peso tras la elaboración del pan, no hemos observado diferencias significativas entre las diferentes elaboraciones realizadas.

3.4.2. Ensayo de textura TPA.

En la tabla 3 podemos observar los parámetros relativos a la textura de los panes elaborados con diferentes tipos de fibra a una cantidad constante de adición de la misma. Es importante remarcar que la textura de los panes elaborados con fibra de patata no se pudo medir debido a que la altura experimentada por el pan no era la suficiente.

Tabla 3: Propiedades texturales de los panes elaborados con diferentes tipos y a una cantidad constante de fibra.

Tipo de fibra	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad	Resiliencia
PATATA	-	-	-	-	-
GUISANTE	29,8c	0,7925 a, b	0,235 a, b, c	5,56 c	0,0975 a, b, c
BAF200	52,7 5 e	0,8255 a, b	0,2605 b, c, d	11,385 e	0,1075 b, c, d
HF200	42,715 d	0,858 b	0,2475 a, b, c, d	9,155 d	0,0975 a, b, c
CONTROL	18,085 b	0,8785 b	0,229 a, b	3,58 b, c	0,0855 a, b
BAF40	10,1915 a	0,771 a, b	0,206 a	1,595 a, b	0,08 a
HF101	11,625 a, b	0,7215 a	0,22 a, b	1,855 a, b	0,0885 a, b, c
Nutriose FM10	7,015 a	0,847 b	0,279 c, d	1,655 a, b	0,1115 c, d
Polidextrosa C90	5,185 a	0,7785 a, b	0,2925 d	1,191 a	0,124 d

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

-No se pudieron llevar a cabo mediciones sobre los panes elaborados con fibras de patata debido a la escasa altura alcanzada por estos panes.

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de masa

Encontramos diferencias significativas en cuanto a la dureza entre los panes elaborados con fibras solubles y los elaborados con fibras insolubles, lo cual se asemeja al estudio de Phimolsiripol (2012). Este hecho contrasta con los valores hallados por Hager (2011) en los que se demuestra que la dureza de los panes sin gluten disminuye cuando la fibra que se añade es la de avena. Además, comprobamos diferencias significativas en cuanto al tamaño de la fibra utilizada. Se observa una tendencia de aumentar la dureza cuanto mayor es el tamaño de partícula. Debemos relacionar la dureza de un pan con su frescura, la cual está directamente vinculada con la retrogradación del almidón y la migración de la humedad en el tiempo. La elasticidad del pan es un parámetro que también se encuentra relacionado con la frescura de los panes, de hecho un pan con altos valores de elasticidad tendrá una calidad mayor (McCarthy, et al., 2005). Si observamos los valores de la masticabilidad podemos apreciar diferencias entre los diferentes tipos de fibra utilizada. Definida como la energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que esté listo para ser tragado (Chiralt Boix, et al., 2007), está directamente relacionada con la dureza. Panes con mayor volumen tendrán unos valores de dureza y de masticabilidad menores. En cuanto a los parámetros de elasticidad, cohesividad y resiliencia, no hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas. En la tabla 4 se muestran las diferencias en los valores de la textura en el ensayo realizado sobre cómo evoluciona la dureza de los panes en el tiempo.

Tabla 4: Diferencias obtenidas entre la dureza medida con un día de vida y la dureza medida con 8 días de vida.

Tipo de fibra	Dureza 1(N)	Dureza 8 (N)	Diferencia (N)
PATATA	-	-	-
GUISANTE	29,8 c	29,66 c, d	7,445 a, b
BAF200	52,75 e	70,17 f	17,42 b
HF200	42,715 d	57,655 e	14,94 a, b
CONTROL	18,085 b	33,2 d	8,335 a, b
BAF40	10,1915 a	21,005 b, c	10,8135 a, b
HF101	11,625 a, b	18,735 a, b	7,11 a, b
Nutriose FM10	7,015 a	13,925 a, b	6,91 a, b
Polidextrosa C90	5,185 a	10,78 a	5,595 a

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

-Dureza 1 es el valor medido con un día de vida, y la Dureza 8 es el valor medido con 8 días de vida

-Los huecos donde hay guiones, implican que no se pudo realizar el análisis la escasa altura de los panes

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de masa

Hemos obtenido los datos de la textura inicial (un día de vida) y la final (ocho días de vida) y la única diferencia significativa es la evolución entre el primer día de vida y el octavo día entre los panes elaborados con fibra de granulometría gruesa y la polidextrosa.

3.4.3. Propiedades de color de la corteza y la miga.

En las tablas 5 y 6 podemos observar como la luminosidad de la corteza de los panes es significativamente mayor en panes con fibras insolubles y en la muestra control, que en los panes elaborados con la adición de fibras solubles. Esto quiere decir que con fibras solubles obtenemos una corteza de los panes mucho más oscura que cuando las fibras de adición son insolubles.

De acuerdo con Gómez (2003) podemos observar que el color de la corteza de los panes no se ve influido por el color de las fibras al natural. Esta apreciación es debida a que el color de la corteza se obtiene por la caramelización de los azúcares en la reacción de Maillard. Por esta razón, los panes que tienen fibra soluble en su composición han obtenido unos valores de L^* menores que los elaborados con fibra insoluble. Según lo observado por Ylimaki (1988), los panes sin gluten suelen tener unas cortezas más blancas que los elaborados con panes de trigo, por lo que un oscurecimiento de la corteza puede ser beneficioso para el consumidor. Otro parámetro en el que hemos observado diferencias significativas es en la a^* . Podemos

apreciar como hay una presencia más abundante de tonos rojizos sobre la corteza de panes elaborados con fibra soluble.

Por otro lado, en el estudio del color de la miga observamos como los panes elaborados con fibra de patata tienen unas diferencias significativas con todos los demás panes. En el caso estos panes su miga tiene unos tonos rojizos, mientras que la miga de los demás panes tiene más bien un tono verde. También encontramos diferencias significativas en el tono de la miga si comparamos los panes elaborados con fibras de patata con todos los demás.

Tabla 5: Propiedades del color de la corteza de los panes

Tipo de fibra	L*	a*	b*	Tono	Croma
PATATA	78,74 c***	4,435 a***	18,07 a	1,32987 c***	18,6067 a
GUISANTE	76,535 b, c	7,285 b, c	24,2125 a, b, c	1,27744 c	25,2856 a, b
BAF200	76,995 b, c	6,395 a, b, c	24,38 a, b, c	1,31546 c	25,2068 a, b
HF200	76,715 b, c	5,63 a, b	24,97 a, b, c	1,34942 c	25,5971 a, b, c
CONTROL	72,285 b	8,05 c	25,24 a, b, c	1,25847 c	26,5068 a, b, c
BAF40	71,675 b	8,19 c	27,63 b, c	1,28262 c	28,8183 b, c
HF101	72,835 b	7,875 b, c	26,355 a, b, c	1,28252 c	27,5126 b, c
Nutriose FM10	54,54 a	16,745 d	29,595 c	1,04993 b	34,0367 c
Polidextrosa C90	49,005 a	17,695 d	19,955 a, b	0,834983 a	26,7911 a, b, c

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

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de masa

Tabla 6: Propiedades del color de la miga de los panes

Tipo de fibra	L*	a*	b*	Tono	Croma
PATATA	71,88 b, c, d, e*	1,06 b**	11,985 c	1,48188 c***	12,0335 c
GUISANTE	76,98 e	-0,335 a	10,7 b, c	-1,54111 a	10,7073 b, c
BAF200	72,905 c, d, e	-0,6 a	11,23 b, c	-1,51616 a, b	11,251 b, c
HF200	72,5050 b, c, d, e	-0,625 a	11,08 b, c	-1,51436 a, b	11,0977 b, c
CONTROL	63,195 a	-0,32 a	7,995 a, b, c	-1,53848 a	8,00327 a, b, c
BAF40	64,685 a, b	-0,825 a	8,555 a, b, c	-1,47494 a, b	8,59469 a, b, c
HF101	65,575 a, b, c	-0,61 a	8,08 a, b, c	-1,49472 a, b	8,10321 a, b, c
Nutriose FM10	68,48 a, b, c, d	-0,7 3a	6,01 a	-1,44135 b	6,06795 a
Polidextrosa C90	74,71 d, e	-0,585 a	7,33 a, b	-1,48915 a, b	7,35579 a, b

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

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de masa

3.3.5. Análisis de imagen de las rebanadas.

En la tabla 7 se recogen los resultados del análisis de imagen de rebanada de los panes. Se han tabulado los datos de área media de alveolo y la densidad alveolar. Como se puede observar, obtenemos diferencias significativas en los panes elaborados con fibra de patata y con fibras de síntesis, frente a todas las demás fibras y el control. Observamos que cuando los panes son elaborados con fibras de síntesis o de patata, el área de poro es mucho menor, dando un aspecto más compacto a la miga del pan. En cambio, cuando el área media de poro es más grande el aspecto del pan es más esponjoso. Este hecho puede ser comparado con la dureza de los panes. A menor área media del pan obtendremos una dureza menor, excepto en el caso de los panes elaborados con fibras de patata en los que no pudo ser medida la textura por su escasa altura.

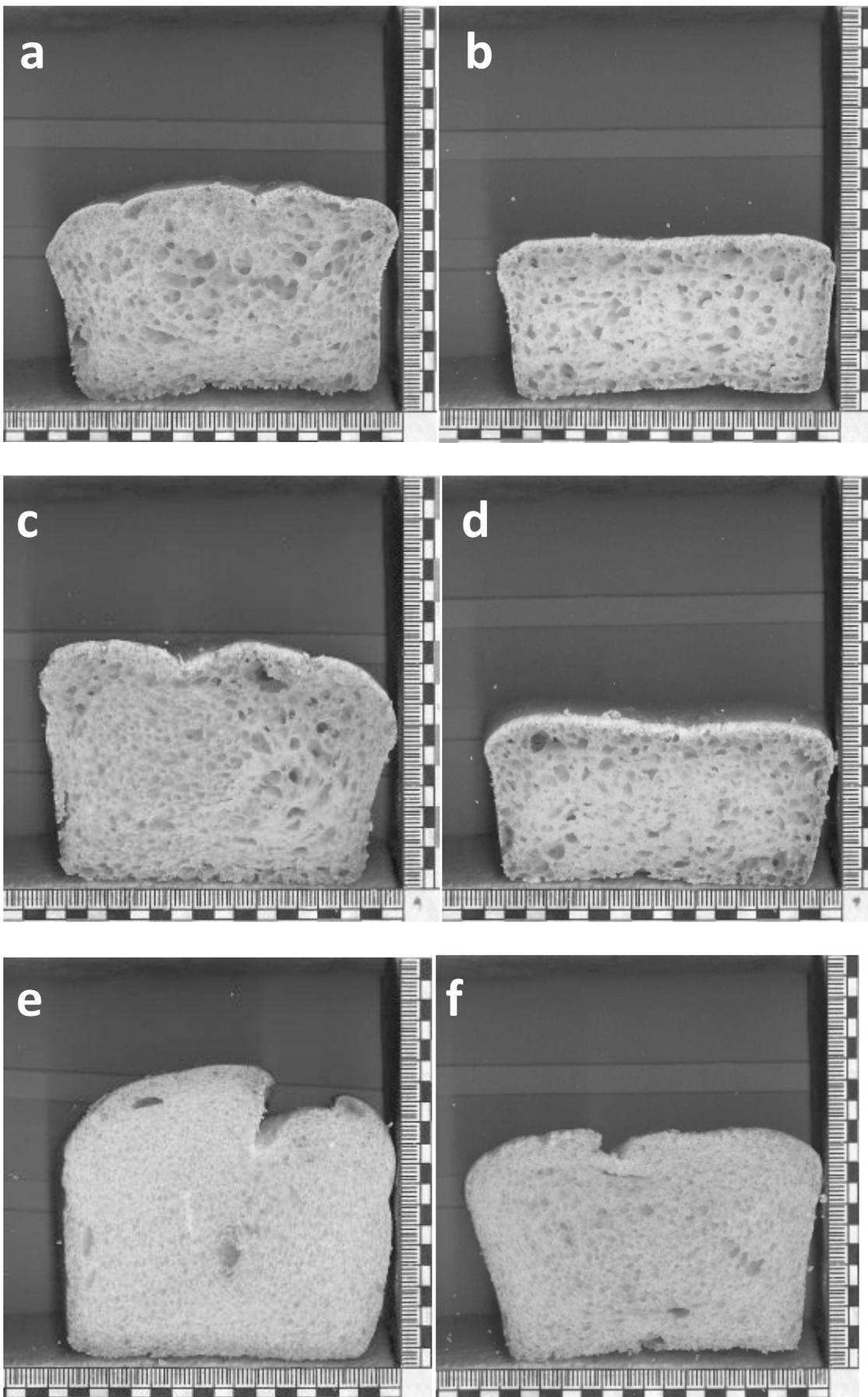
Tabla 7: Resultados del análisis de imagen de los panes

Tipo de fibra	Área Media	densidad alveolar
PATATA	169 a**	46181 d***
GUISANTE	232 a, b	40972 b, c, d
BAF200	304,5 a, b	36805,5 b, c
HF200	261,5 a, b	42014 b, c, d
CONTROL	635,5 c	28125 a
BAF40	359 b	34722,5 a, b
HF101	282,5 a, b	45139 c, d
Nutriose FM10	172,5 a	56944,5 e
Polidextrosa C90	179 a	56250 e

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

-Los datos mostrados son las medias obtenidas a partir de dos repeticiones para cada tipo de masa

El área media de poro también está directamente relacionada con la densidad alveolar. Por lo que observamos en la tabla 7, a menor área media de poro mayor será la densidad alveolar. Esto se puede explicar debió a que cuanto menos área ocupen los poros, más poros habrá por cm^2 . En la figura 6 podemos observar de forma visual esas diferencias.



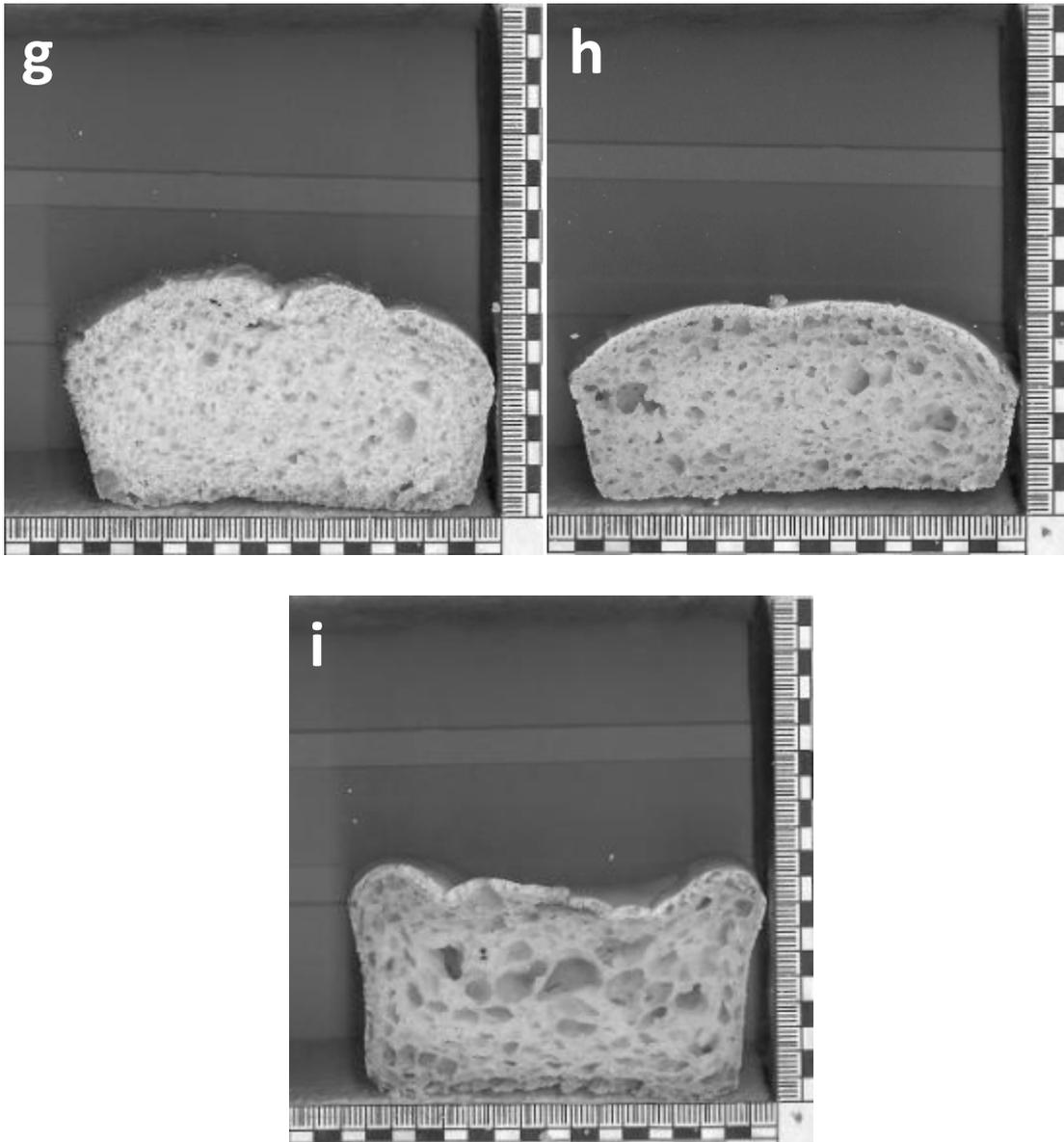


Figura 6: Fotografías de las rebanadas de los panes elaborados a) Fibra de bambú de granulometría fina , b) Fibra de bambú de granulometría gruesa , c) Fibra de avena de granulometría fina, d) Fibra de avena de granulometría gruesa , e) Polidextrosa, f) NUTRIOSE[®], g) Fibra de guisante, h) Fibra de patata, i) Control (ausencia de fibra)

4. Conclusiones.

El enriquecimiento de panes sin gluten con fibra es una de las vías para contrarrestar ciertos déficits que tienen los pacientes celíacos. Hemos comprobado que cuando la fibra de adición es de síntesis y soluble, obtenemos unos panes elaborados con un mayor volumen específico, más blandos, más esponjosos y con una corteza más oscura que los panes elaborados con fibras insolubles y nuestra muestra control. Este hecho puede deberse a que las masas enriquecidas con fibras solubles son mucho menos densas que las enriquecidas con fibras insolubles. Si nos centramos sólo en los panes elaborados añadiendo fibra insoluble, observamos que los panes con mayor

volumen son los que han sido enriquecidos con fibras insolubles de menor tamaño. A la hora de enriquecer panes sin gluten deberíamos de optar por utilizar fibras solubles o insolubles con un tamaño de fibra menor.

Después de los datos obtenidos, en ensayos futuros sería de especial interés abordar la mezcla de distintos tipos de fibras para obtener un mejor rendimiento en la elaboración de panes sin gluten enriquecidos con fibras dietéticas.

5. Bibliografía.

- AACC International (2010). Approved Methods of Analysis, 61-02.01 Determination of the Pasting Properties of Rice with the Rapid Visco Analyser (RVA) (11th Ed.). St. Paul, MN, U.S.A. AACC International.
- Almeida, E. L., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2013). Dietary fibre sources in frozen part-baked bread: Influence on technological quality. *Lwt-Food Science and Technology*, 53(1), 262-270.
- Astbury, N. M., Taylor, M. A., & Macdonald, I. A. (2013). Polydextrose results in a dose-dependent reduction in ad libitum energy intake at a subsequent test meal. In).
- Baffoni, L., Gaggia, F., Di Gioia, D., & Biavati, B. (2012). Role of intestinal microbiota in colon cancer prevention. *Annals of Microbiology*, 62(1), 15-30.
- Bonnand-Ducasse, M., Della Valle, G., Lefebvre, J., & Saulnier, L. (2010). Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *Journal of Cereal Science*, 52(2), 200-206.
- Burdock, G. A., & Flamm, W. G. (1999). A review of the studies of the safety of polydextrose in food. *Food and Chemical Toxicology*, 37(2-3), 233-264.
- Capriles, V. D., & Areas, J. A. G. (2013). Effects of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycemic response of gluten-free breads. *Food & Function*, 4(1), 104-110.
- Chiralt Boix, A., Martínez Benavente, N., González Martínez, C., Talens Oliag, P., & Moraga Ballesteros, G. (2007). *Propiedades físicas de los alimentos*. Valencia: Universidad politécnicas de valencia.
- Czuchajowska, Z., & Pomeranz, Y. (1993). Gas-formation and gas retention .1. the system and methodology. *Cereal Foods World*, 38(7), 499-503.
- de la Hera, E., Talegon, M., Caballero, P., & Gomez, M. (2013). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(4), 924-932.
- Diowksz, A., Sucharzewska, D., & Ambroziak, W. (2009). Function of dietary fibre in forming functional properties of gluten free dough and bread. *Zywnosc-Nauka Technologia Jakosc*, 16(2), 83-93.
- Flood, M. T., Auerbach, M. H., & Craig, S. A. S. (2004). A review of the clinical toleration studies of polydextrose in food. *Food and Chemical Toxicology*, 42(9), 1531-1542.
- Gomez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E., & Caballero, P. A. (2010). Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *Lwt-Food Science and Technology*, 43(1), 33-38.
- Gomez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguia, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 216(1), 51-56.

- Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., & Rosell, C. M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 167-173.
- Guerin-Deremaux, L., Pochat, M., Reifer, C., Wils, D., Cho, S., & Miller, L. E. (2011). The soluble fiber NUTRIOSE induces a dose-dependent beneficial impact on satiety over time in humans. *Nutrition Research*, 31(9), 665-672.
- Gularte, M. A., de la Hera, E., Gomez, M., & Rosell, C. M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *Lwt-Food Science and Technology*, 48(2), 209-214.
- Hager, A. S., Ryan, L. A. M., Schwab, C., Ganzle, M. G., O'Doherty, J. V., & Arendt, E. K. (2011). Influence of the soluble fibres inulin and oat beta-glucan on quality of dough and bread. *European Food Research and Technology*, 232(3), 405-413.
- Hamer, R. J. (2005). Coeliac Disease: Background and biochemical aspects. *Biotechnology Advances*, 23(6), 401-408.
- Huttner, E. K., Dal Bello, F., Zannini, E., Titze, J., Beuch, S., & Arendt, E. K. (2011). Physicochemical Properties of Oat Varieties and Their Potential for Breadmaking. *Cereal Chemistry*, 88(6), 602-608.
- José Turrado, A. R. S., Juan Ramos y Maria L. Reynoso. (2008). Behaviour of Recycled Cellulose Fiber during the Hydration Process. In, vol. 19 (pp. 129-136). Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel Ing. Karl Augustin Grellmann, Km 15.5 carretera Guadalajara-Nogales, 45000 Zapopan, Jalisco - México: Información Tecnológica.
- Korus, J., Grzelak, K., Achremowicz, K., & Sabat, R. (2006). Influence of prebiotic additions on the quality of gluten-free bread and on the content of inulin and fructooligosaccharides. *Food Science and Technology International*, 12(6), 489-495.
- Krupa-Kozak, U., Altamirano-Fortoul, R., Wronkowska, M., & Rosell, C. M. (2012). Breadmaking performance and technological characteristic of gluten-free bread with inulin supplemented with calcium salts. *European Food Research and Technology*, 235(3), 545-554.
- Ktenioudaki, A., O'Shea, N., & Gallagher, E. (2013). Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 362-368.
- Kupper, C. (2005). Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*, 128(4), S121-S127.
- Lappi, J., Aura, A. M., Katina, K., Nordlund, E., Kolehmainen, M., Mykkanen, H., & Poutanen, K. (2013). Comparison of postprandial phenolic acid excretions and glucose responses after ingestion of breads with bioprocessed or native rye bran. *Food & Function*, 4(6), 972-981.
- Matos Segura, M. E., & Rosell, C. M. (2011). Chemical Composition and Starch Digestibility of Different Gluten-free Breads. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(3), 224-230.
- McCarthy, D. F., Gallagher, E., Gormley, T. R., Schober, T. J., & Arendt, E. K. (2005). Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry*, 82(5), 609-615.
- Mis, A., & Dziki, D. (2013). Extensograph curve profile model used for characterising the impact of dietary fibre on wheat dough. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 471-479.
- Morris, C., & Morris, G. A. (2012). The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. *Food Chemistry*, 133(2), 237-248.
- Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., & Schoenlechner, R. (2012). Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 389-395.

- Reilly, N. R., Fasano, A., & Green, P. H. R. (2012). Presentation of celiac disease. *Gastrointestinal endoscopy clinics of North America*, 22(4), 613-621.
- 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(8), 1380-1389.
- Scholz-Ahrens, K. E., & Schrezenmeir, J. (2007). Inulin and oligofructose and mineral metabolism: The evidence from animal trials. *Journal of Nutrition*, 137(11), 2513S-2523S.
- Selby, P. L., Davies, M., Adams, J. E., & Mawer, E. B. (1999). Bone loss in celiac disease is related to secondary hyperparathyroidism. *Journal of Bone and Mineral Research*, 14(4), 652-657.
- Thompson, T., Dennis, M., Higgins, L. A., Lee, A. R., & Sharrett, M. K. (2005). Gluten-free diet survey: are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain foods? *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 18(3), 163-169.
- Urgesi, R., Cianci, R., Bizzotto, A., Costamagna, G., & Riccioni, M. E. (2013). Evaluation of gastric and small bowel transit times in coeliac disease with the small bowel PillCam (R) : a single centre study in a non gluten-free diet adult italian population with coeliac disease. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 17(9), 1167-1173.
- Vader, L. W., Stepniak, D. T., Bunnik, E. M., Kooy, Y. M. C., De Haan, W., Drijfhout, J. W., Van Veelen, P. A., & Koning, F. (2003). Characterization of cereal toxicity for celiac disease patients based on protein homology in grains. *Gastroenterology*, 125(4), 1105-1113.
- Vermorel, M., Coudray, C., Wils, D., Sinaud, S., Tressol, J. C., Montaurier, C., Vernet, J., Brandolini, M., Bouteloup-Demange, C., & Rayssiguier, Y. (2004). Energy value of a low-digestible carbohydrate, NUTRIOSE (R) FB, and its impact on magnesium, calcium and zinc apparent absorption and retention in healthy young men. *European Journal of Nutrition*, 43(6), 344-352.
- von Rahden, B. H. A., & Germer, C. T. (2012). Pathogenesis of colonic diverticular disease. *Langenbecks Archives of Surgery*, 397(7), 1025-1033.
- Waters, D. M., Jacob, F., Titze, J., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2012). Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment. *European Food Research and Technology*, 235(5), 767-778.
- Yang, J., Wang, H.-P., Zhou, L., & Xu, C.-F. (2012). Effect of dietary fiber on constipation: A meta analysis. *World Journal of Gastroenterology*, 18(48), 7378-7383.
- Ylimaki, G., Hawrysh, Z. J., Hardin, R. T., & Thomson, A. B. R. (1988). Application of response-surface methodology to the development of rice flour yeast breads - objective measurements. *Journal of Food Science*, 53(6), 1800-1805.
- Ziobro, R., Korus, J., Juszcak, L., & Witczak, T. (2013). Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread. *Journal of Food Engineering*, 116(1), 21-27.