



MEJORA DE LA VIDA ÚTIL DE PANES MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE FIBRA CÍTRICA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO ACADÉMICO 2022/2023**

Alumno: Raúl Fernández Guijo
Tutor: Manuel Gómez Pallarés
Cotutora: Laura Román Rivas

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

Índice

1. Introducción	1
2. Materiales y métodos.....	4
2.1. Materiales.....	4
2.2. Métodos	4
2.2.1. Capacidad de absorción de agua de la harina y sus mezclas con FC.....	4
2.2.2. Viscosidad de la harina y sus mezclas con FC.....	5
2.2.3. Método de elaboración de los panes.....	5
2.2.4. Propiedades físicas y sensoriales de los panes	7
3. Resultados y discusión	9
3.1. Capacidad de absorción de agua de la harina y sus mezclas con FC	9
3.2. Viscosidad de la harina y sus mezclas con FC	10
3.3. Propiedades físicas y sensoriales de los panes.....	12
3.3.1. Volumen específico, pérdida de peso y relación ancho/alto	12
3.3.2. Textura y vida útil	17
4. Conclusiones	22
5. Bibliografía.....	23
6. Anexos.....	31

Resumen

La Fibra Cítrica (FC) es un tipo de fibra dietética que se obtiene principalmente de la piel de los cítricos, la cual se genera como subproducto de la industria procesadora de cítricos. En este trabajo se evaluó el efecto de añadir bajas concentraciones de FC (0,5, 1 y 2%) sobre la capacidad de retención de agua y viscosidad de la harina de trigo, así como el efecto sobre las propiedades físicas del pan (volumen específico, pérdida de peso, relación ancho/alto, textura, color y vida útil) elaborado sin y con mejorante. En cuanto a los resultados obtenidos, la capacidad de retención de agua de la harina de trigo aumentó significativamente con la adición de FC, mientras que su viscosidad solo pareció incrementarse ligeramente cuando se le añadió un 2 % de FC. Por otro lado, en general, las propiedades físicas de los panes tampoco se vieron afectadas significativamente por la incorporación de bajas concentraciones de FC. Hay que destacar que los panes con FC y, por tanto, con más agua añadida que los panes control mostraron una pérdida de peso similar a los panes control. Esto indica que los panes con FC retuvieron el agua añadida y se logró así aumentar el rendimiento panadero. Por último, la dureza a los 7 días del horneado de los panes elaborados sin mejorante fue significativamente menor en el caso de los panes con un 2 % de FC lo que indica una mayor vida útil que el resto de muestras. Por lo tanto, parece que la incorporación de FC a bajas concentraciones en pan permite obtener un mayor rendimiento panadero y panes con mayor vida útil.

Palabras clave: pan, fibra cítrica, gluten, vida útil, rendimiento panadero.

Abstract

Citrus Fiber (CF) is a type of dietary fiber that is obtained mainly from the peel of citrus fruits, which is generated as a byproduct of the citrus processing industry. In this work, the effect of adding low concentrations of CF (0.5, 1 and 2%) on the water retention capacity and viscosity of wheat flour was evaluated, as well as the effect on the physical properties of bread (volume specific, weight loss, width/height ratio, texture, color and shelf life) made without and with improver. Regarding the results obtained, the water retention capacity of wheat flour increased significantly with the addition of FC, while its viscosity only seemed to increase slightly when 2% of FC was added. On the other hand, in general, the physical properties of the breads were not significantly affected by the incorporation of low concentrations of CF. It should be noted that the breads with CF and, therefore, with more water added than the control breads showed a similar weight loss to the control breads. This indicates that the breads with FC retained the added water and thus increased baking performance. Finally, the hardness 7 days after baking of the

bread made without improver was significantly lower in the case of the breads with 2% CF, which indicates a longer shelf life than the rest of the samples. Therefore, it seems that the incorporation of CF at low concentrations in bread allows for greater baking performance and breads with longer shelf life.

Keywords: bread, citrus fiber, gluten, shelf life, baking performance.

1. Introducción

La Fibra Dietética (FD) se define como la parte comestible de las plantas y carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, con fermentación total o parcial en el intestino grueso humano (Gómez et al., 2003; Lee y Lin, 2008; Fendri et al., 2016). La FD se puede clasificar como fibra dietética insoluble (FDI) y soluble (FDS) en función de su solubilidad en agua (Miller, 2011; Fendri et al., 2016). Los principales componentes de la FD son la celulosa, la lignina, la hemicelulosa, la pectina, las gomas y el almidón resistente (Gómez et al., 2003; Raghavendra et al., 2004). Entre estos, la celulosa y el almidón resistente son insolubles pero los demás son solubles (Raghavendra et al., 2004). Un consumo adecuado de FD (aproximadamente 14 g/1000 Kcal·Día en adultos; Wheeler y Pi-Sunyer, 2008) proporciona varios beneficios para la salud como la prevención del estreñimiento, la diverticulosis, la diabetes tipo 2, las enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Kromhout et al., 1982; Gordon, 1989; Humble et al., 1993; Kritchevsky, 2001; Lairon et al., 2005; Kendall et al., 2010; Seal et al., 2021).

A pesar de sus beneficios para la salud, la dieta de los países desarrollados es deficiente en FD (Gordon, 1989; Gómez et al., 2003). Por ello, recientemente ha surgido una creciente demanda de alimentos saludables y ricos en FD que, al mismo tiempo, tengan buenas propiedades sensoriales (Ang, 2001; Lebesi y Tzia, 2011; de Erive et al., 2020). En respuesta a este escenario, la industria alimentaria y la comunidad investigadora han mostrado un creciente interés por el desarrollo de productos con un alto contenido de FD para satisfacer la mayor demanda de este tipo de alimentos por parte de los consumidores (Lee et al., 2004; Lebesi y Tzia, 2011; Aydogdu et al., 2018; de Erive et al., 2020).

Una buena forma de solucionar esta deficiencia nutricional es la incorporación de FD en alimentos altamente consumidos. El pan es uno de los alimentos más consumidos diariamente (Spina et al., 2019; Franco y Gómez, 2022), razón por la cual se ha convertido en la principal fuente de hidratos de carbono en muchos países de todo el mundo (Franco y Gómez, 2022). Debido a su elevado consumo, el pan es un alimento ideal para ser utilizado como vehículo de componentes nutraceuticos como es la FD (Lebesi y Tzia, 2011; Martins et al., 2017; Spina et al., 2019). Sin embargo, la FD no solo mejora el valor nutricional de los alimentos, sino que también presenta varias propiedades funcionales. Entre las propiedades funcionales de la FD se encuentran la elevada capacidad de retención de agua (Lario et al., 2004; Lebesi y Tzia, 2011; Miller, 2011; Ocen y Xu, 2013; Aydogdu et al., 2018), su alta viscosidad al disolverse en agua,

su capacidad para formar geles y su capacidad para unirse a moléculas orgánicas, aceite y minerales (Tunghland y Meyer, 2006).

Debido a sus propiedades funcionales, la FD es capaz de modificar las características reológicas de la masa y, en consecuencia, la calidad y características sensoriales del pan resultante (Gómez et al., 2003; Collar et al., 2009; Ocen y Xu, 2013; Alba et al., 2020). Además, se ha documentado que se puede emplear para mejorar la estabilidad de los panes y otros productos horneados durante su procesado y almacenamiento, por lo que mejora su vida útil (Lebesi y Tzia, 2011; Ocen y Xu, 2013; Qi et al., 2021). Pero a veces la adición de FD provoca efectos negativos en la calidad del pan (Miller 2011; Chang et al., 2015). Generalmente, provoca una reducción del volumen del pan, un aumento de la dureza de la miga y un empeoramiento de las características sensoriales del pan (Pomeranz et al., 1977; Gómez et al., 2003; Kaack et al., 2006; Miller, 2011; Wu et al., 2012). Sin embargo, las propiedades funcionales de la FD varían en función de la composición (p. ej, por la relación FDI/FDS) y cantidad de FD añadida (Gómez et al., 2003; Collar et al., 2009; Aydogdu et al., 2018).

La Fibra Cítrica (FC) es un tipo de FD que se obtiene principalmente de la piel de los cítricos, la cual se genera como subproducto de la industria procesadora de cítricos (Marín et al., 2007). Está compuesta mayoritariamente por FDS, concretamente, por pectina (42,25 %) y hemicelulosa (10,09 %) y, en menor medida por celulosa (15,95 %) que forma parte de su fracción insoluble (Lundberg et al., 2014). De hecho, presenta propiedades funcionales similares a las FDs procedentes de cereales (Tunghland y Meyer, 2006), las cuales son utilizadas de forma común en panadería (Miller, 2011). Sin embargo, su principal ventaja consiste en que presenta un mayor contenido de FDS que las FDs procedentes de cereales (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999; Gorinstein et al., 2001; Marín et al., 2007). Esto hace que su capacidad de absorción de agua y viscosidad en el agua también sean mayores que la de las FDs procedentes de cereales (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999; Gómez et., 2003; Marín et al., 2007; Aydogdu et al., 2018). Además, la elevada capacidad de retención de agua de la FC permite aumentar el rendimiento del pan, ya que permite obtener más masa a partir de una cantidad determinada de ingredientes secos (Miller, 2011). Por todo ello, la FC puede ser aplicada en varios tipos de alimentos como, productos horneados, carnes, productos lácteos, salsas y aderezos (Lundberg et al., 2014). Además, la FC presenta un color, sabor y olor neutros, lo cual la hace adecuada para muchas aplicaciones alimentarias a diferencia de otras FDs (Grigelmo-Miguel y Martin-Belloso, 1999; Garau et al., 2007). Por otro lado, además de los beneficios nutricionales asociados a la mayoría de FDs, la FC presenta compuestos antioxidantes asociados a los cítricos, como son los

polifenoles, flavonoides y la vitamina C (Benavente-García, et al., 1997; Marín et al., 2002).

Por sus propiedades funcionales, se está estudiando la aplicación de la FC principalmente en la industria cárnica (Fernández-López et al., 2004; Lundberg, 2005; Qi et al., 2021; Rivera y Flores, 2022). Sin embargo, también ha sido estudiada en panes (Gómez et al., 2003; Miller, 2011; Fu et al., 2015; Spina et al., 2019) y en panes sin gluten (O'Shea et al., 2015; Ozturk y Mert, 2018; Korus et al., 2020; Bugarín y Gómez, 2023). En el caso de los panes, en general se encontró que, a bajas concentraciones de incorporación de FC, los panes presentaban menor volumen, mayor peso por el aumento de la absorción de agua (es decir, mayor rendimiento panadero), textura y propiedades sensoriales similares a los panes control y una mejora de la vida útil a temperatura ambiente.

No obstante, hasta la fecha no se ha estudiado el efecto de la FC en panes sin mejorante y con mejorante bajo las mismas condiciones. Por lo tanto, para lograr un mayor conocimiento al respecto, el objetivo de este estudio es conocer cómo influye la adición de FC a bajas concentraciones (0-2%) en la calidad del pan sin mejorante y con mejorante con el objetivo de aumentar la vida útil de los panes e incrementar el rendimiento panadero. Para ello, se ha evaluado el efecto de la FC en: 1) la capacidad de retención de agua de la harina y en su viscosidad en un ciclo de calentamiento y enfriamiento; 2) las propiedades físicas del pan sin y con mejorante, concretamente en el volumen específico, pérdida de peso, relación ancho/alto, textura, color y apariencia; 3) la vida útil de los panes sin y con mejorante mediante la evaluación de su textura a los 7 días después del horneado y 4) las propiedades sensoriales del pan sin y con mejorante.

Como se ha mencionado, la FC presenta una elevada cantidad de FDS, lo que le proporciona una elevada capacidad de retención de agua. Por ello, se espera que la adición de FC en el pan provoque una mayor retención de humedad que los panes sin FC, incrementando así el rendimiento panadero. Además, al retener más humedad, también se espera que la textura de los panes se conserve durante más tiempo, alargando así su vida útil.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Los panes se elaboraron utilizando harina de trigo con un grado de extracción del 80% (Molinos del Duero-Carbajo Hermanos S.A., Zamora, España). Por ello, esta harina de trigo contiene todo el germen y endospermo y parte del salvado. La composición de la harina de trigo fue de 11,01 g/100 g de humedad, 14,69 g/100 g de proteína y 1,11 g/100 g de cenizas (datos proporcionados por el fabricante). El resto de parámetros de interés relativos a la funcionalidad de la harina utilizada se encuentran en los informes resultantes de los ensayos con farinógrafo y alveógrafo (**Anexos 1 y 2**). El mejorante utilizado fue “Pulso Ecopan” (Lesaffre Ibérica S.A., Valladolid, España) el cual contiene harina de trigo ecológica, ácido ascórbico y enzimas (datos del fabricante). La Fibra Cítrica (FC) utilizada fue “Vitacel CF 312” (Rettenmaier Iberica S.L., Barcelona, España). El resto de ingredientes utilizados fueron la levadura seca instantánea “Bakerdream” (Angel Yeast Co., Ltd., Yichang, China), sal refinada (Disal S.A., Madrid, España) y agua potable de la red local.

2.2. Métodos

2.2.1. Capacidad de absorción de agua de la harina y sus mezclas con FC

La capacidad de absorción de agua o “*Water Binding Capacity*” (WBC) es la cantidad máxima de agua que una muestra puede absorber y retener tras ser sometida a un proceso de centrifugación a baja velocidad. Para evaluar la WBC de las muestras de interés, es decir, de la harina (control) y de las diferentes mezclas de harina con sustitución de 0,5 %, 1% y 2% por FC (0,5 % FC, 1% FC y 2% FC) se llevó a cabo el método AACC 56-30.01 (AACC, 2012a). No obstante, se modificó el método puesto que las muestras con FC eran capaces de absorber toda el agua tras la centrifugación. Por tanto, del método original se modificó el peso usado de muestra y el tiempo de centrifugación, los cuales se establecieron en 1,5 g y 15 minutos, respectivamente.

Las WBC se midieron por duplicado en tubos Falcon de 50 mL en los cuales, se añadieron las cantidades de harina de trigo y FC correspondientes a los porcentajes de sustitución de cada muestra (control, 0,5% FC, 1% FC y 2% FC) teniendo en cuenta que el peso seco de las muestras debía ser de 1,5 g. A cada una de las muestras se le añadió 25 mL de agua destilada y, posteriormente, las muestras se pesaron y se homogeneizaron mediante el uso de un vórtex (MS2 Minishaker, IKA, Staufen, Alemania). Después, las muestras homogeneizadas fueron centrifugadas a 4000 rpm

durante 15 minutos, tras lo cual se eliminó el sobrenadante. Finalmente, el valor de WBC de cada muestra se calculó como la cantidad de agua retenida por gramo de muestra seca según se muestra en la ecuación 1.

$$WBC = \frac{W_f - W_0}{W_0} \quad (1)$$

Donde W_0 es el peso de la muestra seca y W_f es el peso de la muestra hidratada.

2.2.2. Viscosidad de la harina y sus mezclas con FC

Para obtener el perfil de viscosidad de las muestras (control, 0,5% FC, 1% FC y 2% FC) se utilizó un viscosímetro *Rapid Visco Analyzer* (RVA; modelo RVA-4C, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia) para aplicarles ciclos de calentamiento, mantenimiento de la temperatura y enfriamiento según el método AACC 76-21.02 (AACC, 2012b). Las diferentes muestras se elaboraron por duplicado en los recipientes de aluminio del RVA. En dichos recipientes, se añadieron 25 mL de agua destilada y las cantidades de harina de trigo y FC correspondientes a los porcentajes de sustitución de cada muestra (control, 0,5% FC, 1% FC y 2% FC) teniendo en cuenta que el peso seco de las muestras debía ser de 3,5 g.

2.2.3. Método de elaboración de los panes

Los panes sin mejorante y con mejorante pertenecientes a los grupos control, 0,5% FC, 1% FC y 2% FC se elaboraron siguiendo la formulación mostrada en la **Tabla 1**. Para la corrección del agua en las formulaciones, la cantidad de agua añadida como ingrediente a cada muestra se obtuvo a partir de la absorción de agua (WA, del inglés “*Water Absorption*”) de cada muestra. En este caso, la WA se define como la cantidad de agua suministrada a la masa para que esta obtuviera una consistencia de, aproximadamente, 500 de torque (FE) en el ensayo farinográfico. La WA necesaria para obtener la consistencia mencionada se determinó mediante un ensayo farinográfico realizado a cada muestra (**Anexo 1**).

Tabla 1. Formulación de los panes con y sin mejorante de los grupos control, y con adición de 0,5%, 1% y 2% de Fibra Cítrica (FC).

Muestras	Harina (g)	FC (g)	Levadura (g)	Sal (g)	Mejorante (g)	Agua (g)
Con Mejorante						
Control	1000	-	20	18	10	659
0,5% FC	1000	5	20	18	10	671
1% FC	1000	10	20	18	10	692
2% FC	1000	20	20	18	10	726
Sin Mejorante						
Control	1000	-	20	18	-	659
0,5% FC	1000	5	20	18	-	671
1% FC	1000	10	20	18	-	692
2% FC	1000	20	20	18	-	726

Para la elaboración de los panes, en primer lugar, se mezclaron todos los ingredientes a excepción del agua, la cual se añadió posteriormente de una sola vez. La temperatura del agua usada como ingrediente se calculó mediante la ecuación 2 para obtener una temperatura final de la masa de 25° C en todas las formulaciones.

$$T^a_{agua} = 50 - (T^a_{ambiente} + T^a_{harina}) \quad (2)$$

Siendo T^a , temperatura en °C y 50 un factor dependiente del calentamiento provocado por la fricción que ejerce una amasadora sobre la masa durante el amasado. De manera que este parámetro depende del tipo de amasadora. El valor de este parámetro, para la amasadora utilizada en este estudio (amasadora de espiral), es de 50.

Todos los ingredientes fueron amasados durante 20 minutos en una batidora en espiral (Menoscud Serie TS, Valle Ufita, Italia). La masa resultante se dividió en cinco porciones, tres de ellas de 300 g y 2 de ellas de 250 g. Posteriormente, las porciones se dejaron reposar durante 10 minutos y se les dio forma de barra en una formadora de barras (Subal, Paterna, España). Las tres porciones de 300 g se depositaron en moldes de aluminio (232 x 60 x 108 mm) mientras que las dos porciones restantes no fueron depositadas en moldes para poder evaluar la relación ancho/alto de los panes sin la interferencia del molde. A continuación, las masas se dejaron fermentar durante 60 minutos a 30 °C y a una humedad relativa del 70 % en una cámara de fermentación controlada (Eurofours, Gommegnies, Francia). Una vez fermentadas, las diferentes porciones de masa fueron horneadas durante 20 minutos a 220 °C en un horno de convección rotativo (Rotoram, Ramalhos, Agueda, Portugal).

Tras el horneado, los panes se dejaron enfriar durante 1 hora a temperatura ambiente, acto seguido, los panes con molde se desmoldaron. Después, los panes

fueron envasados en bolsas de plástico etiquetadas que fueron cerradas adecuadamente para evitar la deshidratación de los panes. Finalmente, los panes fueron almacenados durante 24 horas a 24 °C en una cámara de temperatura controlada para su posterior análisis.

Con este método de elaboración de panes se elaboraron, para cada muestra (control, 0,5 % FC, 1 % FC y 2 % FC), dos lotes/repeticiones (de 5 panes cada lote) sin mejorante y dos lotes con mejorante. De manera que se obtuvo un total de 80 panes (5 panes x 4 muestras x 2 lotes sin mejorante x 2 lotes con mejorante, 80 panes).

2.2.4. Propiedades físicas y sensoriales de los panes

Las propiedades físicas (volumen específico, pérdida de peso, relación ancho/alto, textura, color y apariencia) y organolépticas de los panes se evaluaron 24 horas después del horneado. Posteriormente, se evaluó la textura de los panes 7 días después del horneado para evaluar su vida útil.

Volumen específico

Para poder determinar el volumen específico de los panes, mediante la ecuación **3**, fue necesario obtener el volumen y el peso de los panes a las 24 h después del horneado. El volumen de los panes se midió con un escáner láser (VolScan Profiler, Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido) mientras que el peso de los panes a las 24 h se utilizó una balanza TE 6101 Sartorius (Goettingen, Germany).

$$\text{Volumen específico (ml/g)} = \text{Volumen (ml)} / \text{Peso 24 h (g)} \quad (3)$$

Pérdida de peso

La pérdida de peso de los panes se midió como la diferencia entre el peso de la masa antes del horneado y el peso de los panes 24 h después del horneado. Los resultados de pérdida de peso fueron expresados en porcentaje. Cabe destacar que para medir el peso de las masas y de los panes 24 h después del horneado se utilizó la balanza mencionada anteriormente.

Relación Ancho/alto

Para evaluar la simetría de los panes se calculó la relación ancho/alto de los mismos. Para ello, se midió el ancho y el alto de los panes utilizando un pie de rey digital (Newaner, China). El ancho del pan se correspondió con su longitud longitudinal y el alto

del pan se correspondió con su longitud transversal desde la base del pan hasta su punto más elevado.

Color

El color de la corteza y de la miga de los panes se midió utilizando un colorímetro PCE-CSM 2 (PCE Instruments, Meschede, Alemania), previamente calibrado, y usando un iluminante D65 y un observador estándar de 2°. Los valores de color se expresaron en el espacio de color CIE L*a*b*. El color de la corteza de los panes se midió en tres puntos de su superficie superior, concretamente, los puntos fueron los dos extremos y la parte central de los panes. Por otro lado, el color de la miga de los panes se midió a partir del punto central de dos rebanadas centrales por cada pan. De manera que por cada pan se obtuvieron tres medidas de color de corteza y dos medidas de color de miga.

Textura y vida útil

Para caracterizar los parámetros texturales de los panes se realizó un Análisis de Perfil de Textura (TPA del inglés, *Texture Profile Analysis*) utilizando un texturómetro (TA-XT2, Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido) provisto con el software *Texture Expert* y equipado con una sonda de 25 mm de diámetro. El TPA consistió en llevar a cabo una prueba de doble compresión para comprimir un 50% de profundidad de la muestra, a una velocidad de 2 mm/s y con un retardo de 30 segundos entre la primera y segunda compresión. La muestra consistió en un cilindro de 30 mm de espesor y 20 mm de diámetro obtenidos a partir de la miga de las rebanadas centrales de los panes utilizando un sacabocados. Los parámetros texturales obtenidos a partir del gráfico resultante del TPA fueron la dureza (N), elasticidad, cohesividad y resiliencia (Gómez et al., 2007).

De cada elaboración se escogieron cuatro panes, dos de ellos se utilizaron para realizar el TPA a las 24 h después del horneado y los dos restantes se almacenaron a 24 °C en una cámara de temperatura controlada hasta el séptimo día después del horneado. Posteriormente, se realizó el TPA de los panes almacenados durante 7 días después del horneado, para evaluar el vida útil de los mismos. De cada uno de los cuatro panes se extrajeron dos rebanadas centrales a las que se les realizó el TPA. De manera que por cada elaboración se realizaron un total de 8 ensayos (4 panes x 2 rebanadas).

Por otro lado, la vida útil de los panes se evaluó comparando los parámetros texturales medidos a los 7 días después del horneado.

Características organolépticas

Para evaluar las características organolépticas de los panes se organizó un *Focus group* integrado por cuatro expertos entre 24 y 60 años. Las características organolépticas que se evaluaron fueron la apariencia, la textura, el olor y el sabor. La cata de los panes se llevó a cabo en una sala con una luminosidad adecuada y agua potable. A cada experto, se le ofreció una rebanada de 30 mm de grosor de las diferentes muestras (control, 0,5 % FC, 1 % FC y 2 % FC). Las muestras se presentaron codificadas mediante un código de tres dígitos en platos de papel blanco de manera que los expertos desconocían a que muestra correspondía cada rebanada. La cata de los panes se dividió en dos fases, la primera fase consistió en realizar una valoración individual de las muestras por escrito y la segunda fase consistió en una puesta en común y discusión de las valoraciones entre los cuatro expertos. Una vez finalizada la cata, se registraron las valoraciones de los expertos a las características organolépticas de cada muestra.

Apariencia

Para evaluar la apariencia de los panes se escaneó la rebanada central de cada pan con un escáner HP Scanjet G3110 (HP, Palo Alto, CA, EE. UU.). Todas las imágenes fueron escaneadas en la misma posición, con un fondo negro y una cinta métrica (en cm), que fue usada como referencia de tamaño.

Análisis estadístico

Los resultados de las diferentes muestras (control, 0,5 % FC, 1 % FC y 2 % FC) se analizaron estadísticamente mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) simple para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias dichas muestras. Se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para diferenciar las medias a un nivel de significancia del 95% ($p < 0,05$). El ANOVA simple se llevó a cabo utilizando el software Statgraphics Centurion XVII (StatPoint Technologies, Warrenton, VA, EE. UU.).

3. Resultados y discusión

3.1. Capacidad de absorción de agua de la harina y sus mezclas con FC

Tal y como se muestra en la **Tabla 2.**, la WBC de las muestras incrementa a medida que aumenta el porcentaje de FC añadida. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en los ensayos realizados con el farinógrafo (**Anexo 1**) puesto que se observa

que la WA aumenta a medida que aumenta el porcentaje de FC de las muestras. De estos resultados se puede deducir que la FC tiene mayor WBC que la harina de trigo. Estos resultados concuerdan con los de otros investigadores (Gómez et al., 2003; Miller, 2011). Por ejemplo, Miller (2011) encontró que la muestra con un 2,5% de harina de trigo sustituida por FC presentó una mayor absorción de agua que la muestra de harina de trigo sin FC (control). La mayor WBC de la FC puede ser debida a que está compuesta mayoritariamente por FDS con elevada WBC, concretamente, por pectina (42,25%) y hemicelulosa (10,06%) (Lundberg et al., 2014; Aydogdu et al., 2018; Jahanbakhshi y Ansari, 2020). Las FDS presentan una elevada WBC debido a que su estructura química presenta, generalmente, varios grupos hidroxilo que permiten la unión con moléculas de agua a través de enlaces de puente de hidrógeno (Wang et al., 2002; Gómez et al., 2003).

Tabla 2. Capacidad de retención de agua (WBC) de la harina de trigo (control) y de sus mezclas con diferentes porcentajes de sustitución de Fibra Cítrica (FC).

Muestra	WBC (g agua/ g muestra)
Control	0,862 ± 0,000a
0,5 % FC	0,957 ± 0,005b
1 % FC	0,965 ± 0,021b
2 % FC	1,011 ± 0,011c

Los datos se expresan como media ± desviación estándar de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Estos resultados concuerdan con los reportados por otros autores que utilizaron diferentes tipos de FD e hidrocoloides (Weber et al., 1993; Miller, 2011; Lundberg et al., 2014; Chang et al., 2015; Aydogdu et al., 2018; Jahanbakhshi y Ansari, 2020; Bugarín et al., 2023). Por ejemplo, en el estudio de Aydogdu et al. (2018) se comparó la WBC de diferentes FDs y se observó que la WBC se correlacionó positivamente con el contenido de FDS de las mismas. Concretamente, obtuvieron que la FD de limón presentaba la mayor WBC de las FDs estudiadas debido a su mayor contenido de FDS.

3.2. Viscosidad de la harina y sus mezclas con FC

Las curvas de viscosidad de las diferentes muestras no mostraron grandes diferencias entre sí, especialmente durante la temperatura de empastado (**Figura 1**). Sin embargo, en la muestra con un 2% de FC se puede apreciar una mayor viscosidad de pico y una mayor viscosidad a partir de ese punto hasta el final de la curva. Este resultado se debe a que la muestra con 2% de FC es la que presenta la mayor WBC de todas, lo que le permite absorber más agua y aumentar su viscosidad más que las otras muestras.

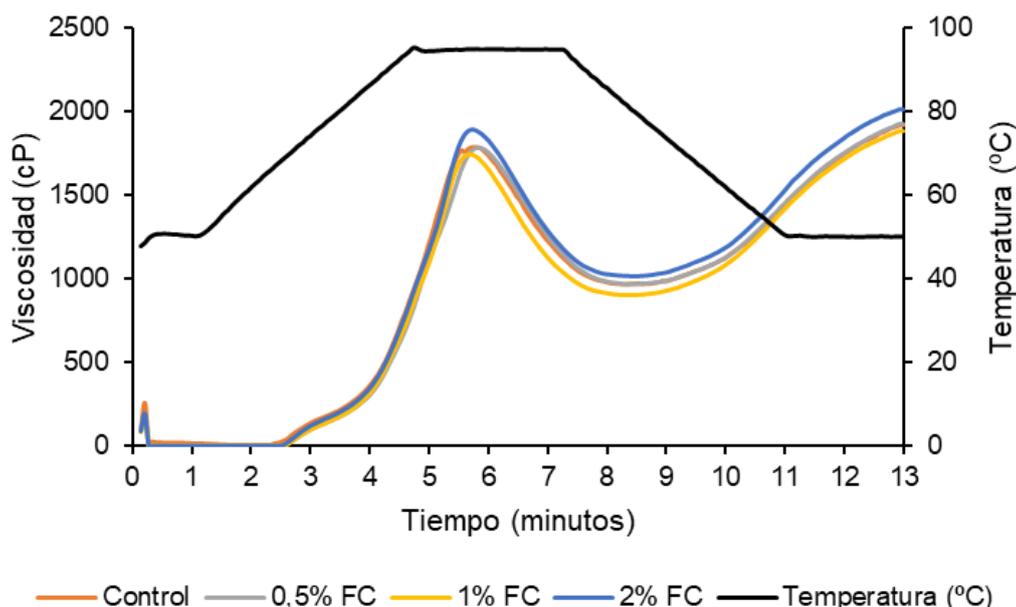


Figura 1. Perfil de viscosidad (cP)-tiempo (minutos)-temperatura (°C) de las muestras control (curva naranja), 0,5% (curva gris), 1% (curva amarilla) y 2% de Fibra Cítrica (FC) (curva azul).

Este resultado es consistente con estudios similares en los que se observó que la viscosidad de las masas incrementó con la adición de diferentes tipos de FD (Brockmole y Zabik, 1976; Lebesi y Tzia, 2011; Turkut et al., 2016; Aydogdu et al., 2018). Por ejemplo, Aydogdu et al. (2018), en un experimento similar encontraron que la viscosidad de la masa aumentaba conforme aumentaron la concentración de diferentes tipos de FD entre los que se encontraba una FD de un cítrico (concretamente, FD de limón). Sin embargo, en otros estudios se encontró que la viscosidad de la masa disminuyó con la adición de FD (Lebesi y Tzia, 2011; Liu et al., 2019; Jahanbakhshi y Ansari, 2020). Por ejemplo, Liu et al. (2019) obtuvieron una disminución en la viscosidad de las masas conforme aumentaron la concentración de una FD de salvado de trigo. La explicación a estos resultados contrarios se debe a que utilizaron FDs con menor WBC que la harina usada (Liu et al., 2019; Jahanbakhshi y Ansari, 2020).

Cabe destacar que otros investigadores han encontrado un aumento del tiempo necesario para alcanzar la viscosidad de pico (debida a la gelatinización del almidón) a medida que incorporaron FD a la harina (Alba et al., 2020; Bugarín et al., 2023). La explicación a este fenómeno consiste en que las FDs con elevada WBC, compiten por el agua con el almidón y las proteínas de la harina. Dicha competencia, puede reducir la disponibilidad de agua necesaria durante la gelatinización del almidón, aumentando así el tiempo necesario para que el almidón gelatinice y se alcance la viscosidad de pico (Alba et al., 2020). En este estudio, no se aprecia dicho fenómeno de forma clara, posiblemente por los bajos porcentajes de sustitución de FC en las muestras analizadas.

3.3. Propiedades físicas y sensoriales de los panes

3.3.1. Volumen específico, pérdida de peso y relación ancho/alto

En general, la adición de FC no provocó un efecto significativo en el volumen específico, pérdida de peso y relación ancho/alto de los panes sin y con mejorante (**Tabla 3**). Sin embargo, los panes con mejorante mostraron diferencias significativas entre sí, aunque no se apreció una tendencia clara. Esto es debido a que el volumen específico de los panes disminuye al incrementar el porcentaje de FC a excepción de los panes con un 1% de FC los cuales presentan un volumen específico similar al de los panes control. Del mismo modo, al observar a simple vista el volumen, la altura y el ancho de los panes sin mejorante (**Figura 2**) y con mejorante (**Figura 3**), tampoco se observa una tendencia clara con el aumento del porcentaje de FC.

Tabla 3. Volumen específico, pérdida de peso y ratio ancho/alto de los panes sin y con mejorante, elaborados con diferentes porcentajes de Fibra Cítrica (FC), medidos a las 24 horas.

Muestra	Volumen específico (mL/g)	Pérdida de peso (%)	Ancho/alto
Sin Mejorante			
Control	2,41 ± 0,50a	11,33 ± 2,46a	1,53 ± 0,04a
0,5% FC	2,46 ± 0,12a	11,89 ± 1,54a	1,54 ± 0,07a
1% FC	2,64 ± 0,13a	12,89 ± 1,13a	1,61 ± 0,01a
2% FC	2,52 ± 0,43a	11,87 ± 1,57a	1,48 ± 0,14a
Con Mejorante			
Control	3,28 ± 0,02b	11,96 ± 1,29a	1,44 ± 0,15a
0,5% FC	2,74 ± 0,26a	10,38 ± 0,11a	1,64 ± 0,12a
1% FC	3,09 ± 0,02ab	10,98 ± 0,80a	1,54 ± 0,06a
2% FC	2,83 ± 0,07a	10,92 ± 0,26a	1,47 ± 0,11a

Los datos se expresan como media ± desviación estándar de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

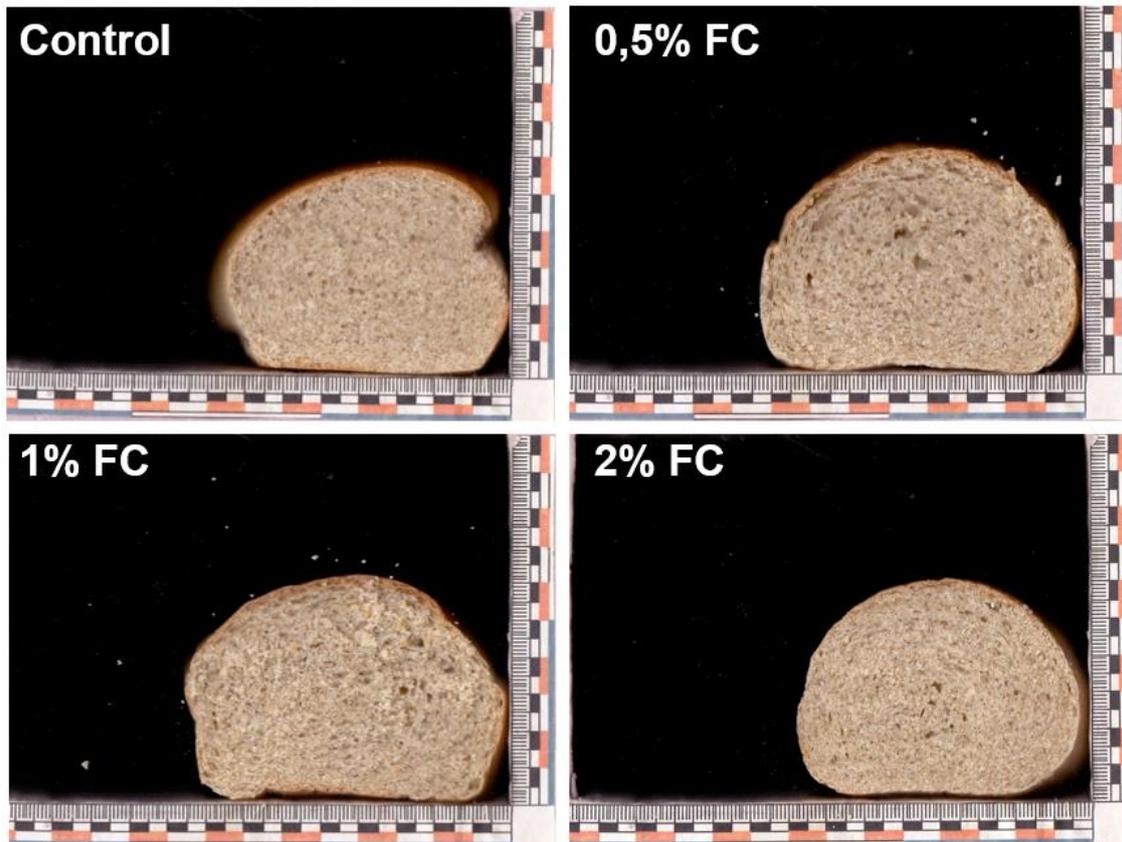


Figura 2. Rebanadas de las diferentes muestras (Control, 0,5 %, 1 % y 2% de FC) de panes sin mejorante.

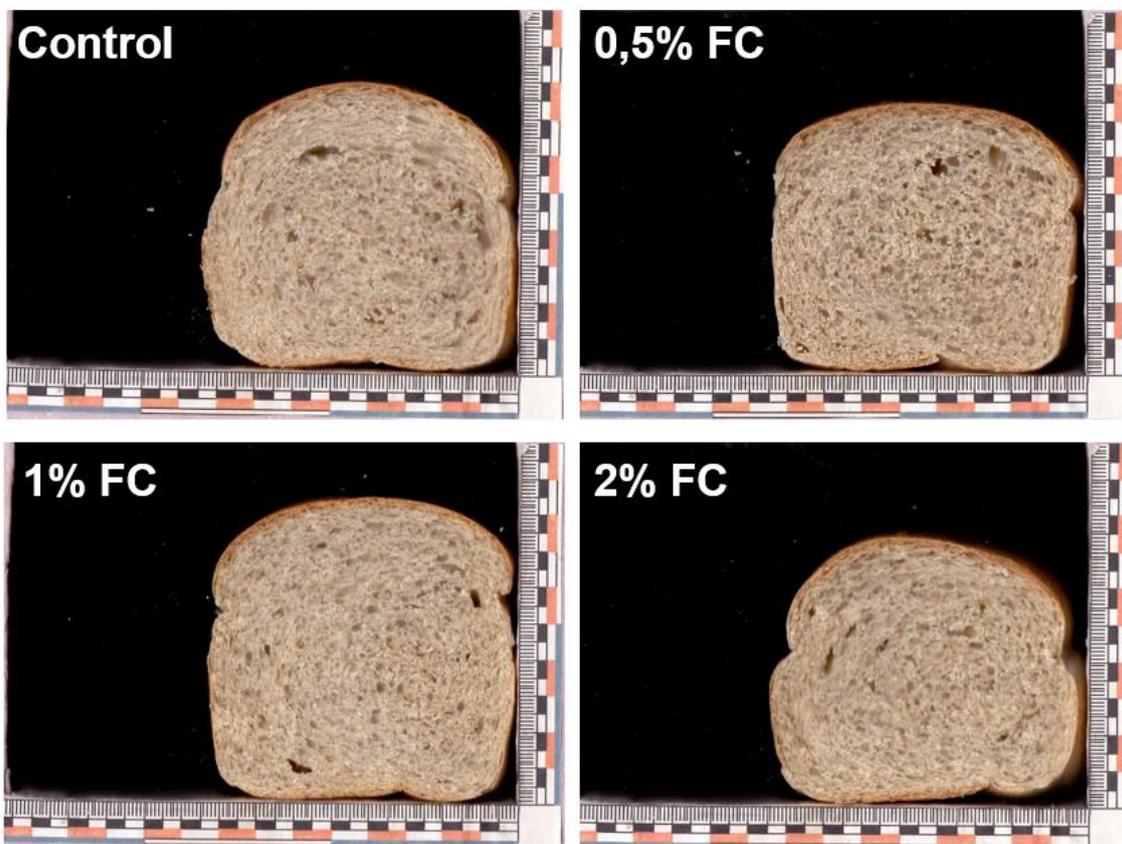


Figura 3. Rebanadas de las diferentes muestras (Control, 0,5 %, 1 % y 2% de FC) de panes con mejorante.

Volumen específico

Los resultados obtenidos en cuanto al volumen específico (**Tabla 3**) no concuerdan con lo obtenido por varios investigadores los cuales, encontraron una reducción del volumen específico como consecuencia de la adición de FD (Gómez et al., 2003; Collar et al., 2009; Hoye y Ross, 2011; Miller, 2011; Chang et al., 2015; Fu et al., 2015; Aydogdu et al., 2018; Korus et al., 2020). Por ejemplo, Fu et al. (2015) evaluaron el efecto de la adición de diferentes concentraciones de FD de limón (3, 6 y 9 g/100 g de harina) sobre la calidad de un pan al vapor denominado “mantou” o pan chino. Como resultado, obtuvieron una disminución en el volumen específico de los panes conforme aumentaban la concentración de FD de limón. Por otro lado, Gómez et al. (2003), obtuvieron resultados similares al añadir un 5% de FD de naranja y trigo.

El hecho de que haya estudios que encontraron reducciones en el volumen específico con bajas incorporaciones de FD en panes, puede deberse a que no se ha corregido la humedad de las masas para obtener una consistencia de masa determinada para todas las muestras, como es el caso del estudio de Fu et al. (2015). Esto provoca que al añadir un ingrediente capaz de absorber agua como es una FD, no haya suficiente agua libre en la masa. La insuficiente cantidad de agua libre en la masa puede causar la disminución del volumen específico del pan resultante mediante tres mecanismos que pueden darse simultáneamente. El primero de ellos consiste en que, al no haber suficiente agua libre, las proteínas del gluten no se hidratan e interaccionan adecuadamente, en consecuencia, la red de gluten no se desarrolla por completo y, por lo tanto, se genera una masa con menor capacidad de retención de dióxido de carbono (generado durante la fermentación por las levaduras) que una masa con una red de gluten correctamente desarrollada (Wang et al., 2017; de Erive et al., 2020). El segundo mecanismo consiste en que la escasez de agua libre en la masa puede llegar a dificultar que las levaduras presenten una adecuada actividad metabólica que genere una suficiente cantidad de dióxido de carbono durante la fermentación de la masa (Wang et al., 2017; de Erive et al., 2020). El tercer mecanismo consiste en que, al no haber suficiente agua libre en la masa, el almidón no ha podido gelatinizar por completo durante el horneado, lo cual provocaría una disminución en el volumen final del pan (Gill et al., 2002).

Por otro lado, hay estudios que han encontrado una disminución del volumen específico de los panes a pesar de haber corregido la humedad de la masa (Gómez et al., 2003; Miller, 2011; de Erive et al., 2020). Concretamente, de Erive et al., (2020) encontraron que los panes con un 12 % y un 14 % de FDS de avena presentaron un

menor volumen específico que los panes. Esto probablemente se deba a que, en estos estudios, se ha incorporado una elevada cantidad de FD a los panes, lo cual provoca una dilución de las proteínas del gluten y una interrupción de la red de gluten. Esto, a su vez, provoca una disminución de la capacidad de la masa para retener el gas de la fermentación, lo que se traduce en una disminución del volumen específico de los panes (Pomeranz et al., 1977; Dubois, 1978; Gómez et al., 2003; Aydogdu et al., 2018; de Erive et al., 2020; Korus et al., 2020).

En base a lo mencionado anteriormente y teniendo en cuenta que en este estudio si se corrigió la humedad de las masas, se puede deducir que no se alcanzó la concentración de FC umbral a partir de la cual se produce una reducción significativa del volumen específico de los panes como consecuencia de la dilución de las proteínas del gluten y de la interrupción de la red de gluten. En estudios similares, es decir, con baja adición de FD y corrección de la humedad de las masas, no se ha encontrado un efecto significativo de la adición de FD e hidrocoloides en el volumen específico de panes (Gómez et al., 2003; de Erive et al., 2020; Franco y Gómez, 2022). Por ejemplo, Gómez et al. (2003) incorporaron un 2% de diferentes FDs e hidrocoloides (de naranja, guisante, cacao, trigo y celulosa microcristalina) y obtuvieron panes con volúmenes específicos similares a los panes control.

Pérdida de peso

La pérdida de peso se relaciona con la pérdida de agua durante el horneado y el almacenamiento (Aydogdu et al., 2018). Concretamente, durante el almacenamiento, el agua migra desde la miga hacia la corteza y se evapora en la superficie del producto (Piazza y Masi, 1995). De manera que es esperable que la pérdida de peso de los panes disminuya al añadir FC a su formulación puesto que es un ingrediente que presenta una elevada WBC y, por lo tanto, sería capaz de disminuir la pérdida de agua de los panes. De hecho, varios estudios sostienen que la FD y otros ingredientes con elevada WBC como los hidrocoloides, son capaces de ralentizar el movimiento del agua desde la miga hasta la corteza de los panes (Gómez et al., 2003; Miller, 2011) y de otros productos horneados (Lebesi y Tzia, 2011; Aydogdu et al., 2018). Sin embargo, la FC no afectó de forma significativa a la pérdida de peso de los panes sin y con mejorante (**Tabla 3**). Franco y Gómez (2022) tampoco encontraron diferencias significativas en la pérdida de peso al incorporar un 10% de psyllium en panes integrales. Esto probablemente se deba a la misma causa que se mencionó en el caso del volumen específico, es decir, es probable que no se alcanzara la concentración umbral de FC a partir de la cual la FC tiene un efecto significativo sobre la pérdida de peso de los panes.

En contraposición a estos resultados, otros estudios sí encontraron efectos significativos de diferentes tipos de FD sobre la pérdida de peso de panes (Collar et al., 2009; Miller, 2011) y otros productos horneados (Aydogdu et al., 2018; Jahanbakhshi y Ansari, 2020). Por ejemplo, Collar et al. (2009) enriquecieron panes con FDS de cacao y observaron que a medida que incrementaban la concentración de FD añadida a partir del 6 %, también aumentaba la humedad de los panes. Por ello, sugirieron que la pérdida de peso de los panes podría reducirse al añadir FDS de cacao. Por otro lado, Jahanbakhshi y Ansari (2020) encontraron que los bizcochos con FD de hueso de aceituna presentaron mayor pérdida de peso que los bizcochos control. Sin embargo, en este caso usaron una FD con menor WBC que la harina sustituida, lo cual explica la menor retención de agua por parte de los bizcochos y, por lo tanto, una mayor pérdida de peso.

Cabe destacar que, el hecho de no haber diferencias significativas en la pérdida de peso entre los panes (sin y con mejorante) con FC y los panes control (**Tabla 3**), sugiere que el agua que se ha añadido adicionalmente a los panes con FC no se ha perdido. En consecuencia, la adición de FC a bajas concentraciones (hasta un 2%) sumado a una correcta hidratación de la masa (mediante farinógrafo) ha permitido incrementar el rendimiento panadero.

Relación ancho/alto

La relación ancho/alto de los panes tampoco mostró diferencias significativas entre los panes sin mejorante ni entre los panes con mejorante (**Tabla 3**). Este resultado difiere de los reportados por otros investigadores que observaron una disminución significativa de la relación ancho/alto al incorporar harina de cebada, un ingrediente con FD y elevada WBC (del Carmen et al., 2020) y psyllium (Fratelli et al., 2021; Franco y Gómez, 2022) un hidrocoloide con elevado WBC (Belorio y Gómez, 2020). Por ejemplo, Franco y Gómez (2022) incorporaron diferentes porcentajes de psyllium (1, 2, 5 y 10 %) en panes integrales con humedad corregida y encontraron que la relación ancho/alto de panes integrales comenzó a disminuir significativamente cuando el porcentaje de psyllium añadido fue superior o igual al 2%. Estos resultados, al igual que los observados en el caso del volumen específico, se han atribuido a la capacidad que tienen los ingredientes fibrosos para diluir las proteínas del gluten y para interrumpir la red de gluten (Franco y Gómez, 2022). Como ya se ha mencionado, esto ocasiona un debilitamiento de la red de gluten y, en consecuencia, una reducción de la capacidad de la masa para retener los gases generados durante la fermentación (Pomeranz et al., 1977; Dubois, 1978; Gómez et al., 2003; Aydogdu et al., 2018; del Carmen et al., 2020;

de Erive et al., 2020; Korus et al., 2020). Al no retener los gases de fermentación, los panes crecen menos en altura y, en consecuencia, se obtienen panes con elevada relación ancho/alto.

Por lo tanto, se puede deducir que no se alcanzó la concentración de FC umbral a partir de la cual se produce un efecto significativo sobre la relación ancho/alto de los panes como consecuencia de la dilución de las proteínas del gluten y de la interrupción de la red de gluten.

3.3.2. Textura y vida útil

En general, la FC no afectó significativamente a los parámetros texturales de los panes sin y con mejorante medidos a las 24 h del horneado (**Tabla 4**). Sin embargo, se observaron diferencias significativas en la dureza y la elasticidad de los panes con mejorante aunque no se obtuvo una tendencia clara. En el caso de la dureza, no se obtuvo una tendencia clara debido a que dicho parámetro parece aumentar conforme aumenta el porcentaje de FC de los panes a excepción de los panes con un 1% de FC los cuales, presentan una dureza similar a la de los panes control. Por otro lado, en el caso de la elasticidad, no se observó una tendencia clara porque parece disminuir a medida que aumenta el porcentaje de FC a excepción de los panes con un 1% de FC los cuales, presentan una elasticidad similar a la de los panes control.

Tabla 4. Parámetros de textura (dureza, elasticidad, cohesividad y resiliencia) de los panes sin y con mejorante, elaborados con diferentes porcentajes de Fibra Cítrica (FC), medidos a las 24 horas.

Muestra	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Resiliencia
Sin Mejorante				
Control	7,01 ± 0,96a	0,924 ± 0,004a	0,575 ± 0,001a	0,227 ± 0,001a
0,5% FC	7,71 ± 1,06a	0,909 ± 0,017a	0,566 ± 0,001a	0,211 ± 0,009a
1% FC	6,76 ± 0,85a	0,906 ± 0,027a	0,580 ± 0,024a	0,229 ± 0,018a
2% FC	7,28 ± 1,44a	0,922 ± 0,036a	0,548 ± 0,026a	0,206 ± 0,024a
Con Mejorante				
Control	5,64 ± 0,57ab	0,929 ± 0,037ab	0,582 ± 0,023a	0,221 ± 0,013a
0,5% FC	7,53 ± 0,57b	0,876 ± 0,010a	0,521 ± 0,024a	0,185 ± 0,004a
1% FC	4,34 ± 0,69a	0,951 ± 0,021b	0,592 ± 0,043a	0,228 ± 0,008a
2% FC	6,50 ± 1,03b	0,909 ± 0,031ab	0,572 ± 0,048a	0,215 ± 0,030a

Los datos se expresan como media ± desviación estándar de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra no presentan diferencias significativas (p < 0,05).

Los resultados relativos a la dureza de los panes tras 24 h del horneado podrían ser explicados por la correlación negativa entre el volumen específico y la dureza que

ha sido documentada por varios estudios en materia de pan y otros productos horneados (Sabanis et al., 2009; Hoye y Ross, 2011, Lebesi y Tzia, 2011; Wu et al., 2012; Ocen y Xu, 2013; Chang et al., 2015; Fu et al., 2015; Fendri et al., 2016; Aydogdu et al., 2018; Jahanbakhshi y Ansari, 2020). Por ejemplo, Chang et al. (2015) encontraron que a medida que incrementaron el porcentaje de sustitución de harina de trigo por FD de limón (en un 6 % y 9 %), aumentó la dureza y disminuyó el volumen específico de los panes. El volumen específico se relaciona negativamente con la dureza porque los panes con menor volumen específico presentan menos burbujas de aire en su interior y, por lo tanto, tienen una estructura de miga más compacta que resulta en panes con mayor dureza (Sabanis et al., 2009; Koletta et al., 2014; Aydogdu et al., 2018). Entonces, como en este estudio no se encontró un efecto significativo de la FC sobre el volumen específico de los panes (**Tabla 3**), era esperable que tampoco hubiera un efecto significativo de la FC sobre la dureza de estos, tal y como se observa en la **Tabla 4**. De hecho, Chang et al. (2015) obtuvieron resultados similares puesto que no obtuvieron diferencias significativas en la dureza y volumen específico entre los panes enriquecidos con un bajo porcentaje de FD de limón (3 %) y los panes control.

Por otro lado, no se ha detectado ningún efecto de la FC sobre la elasticidad, cohesividad y resiliencia, lo que sugiere que la adición de hasta un 2% FC no alteró el desarrollo de la red de gluten. Esto es debido a que los panes con una red de gluten correctamente desarrollada presentan una miga elástica y con poca tendencia a fracturarse y desmoronarse, es decir, presentarían elevados valores de elasticidad, cohesividad y resiliencia en comparación con panes con un desarrollo pobre de la red de gluten (de Erive et al., 2020). Estos resultados no son los esperados puesto que se ha documentado que la adición de FD en panes provoca una dilución y deshidratación de la red de gluten que impide su correcto desarrollo haciendo que la estructura de miga presente menor elasticidad, cohesividad y resiliencia que un pan sin FD (de Erive et al., 2020; Majzoobi et al., 2013). De hecho, de Erive et al. (2020) detectaron una disminución de la elasticidad y resiliencia como consecuencia de la adición de un 10%, 12% y 14% de FDS de avena en la formulación de panes.

Sin embargo, otros estudios que incorporaron bajas cantidades de FD en panes y otros productos horneados, obtuvieron resultados similares (Chang et al., 2015; Fu et al., 2015; Bugarín y Gómez, 2023). Por ejemplo, Chang et al. (2015) no obtuvieron diferencias significativas en la elasticidad y cohesividad entre los panes con un 3% de harina de trigo sustituida por FD de limón y los panes control. Sin embargo, obtuvieron panes con menor elasticidad y cohesividad cuando el porcentaje de sustitución fue

elevado (6 % y 9 % de FD de limón) y atribuyeron este resultado a la capacidad de la FD de limón para interferir en la formación de red de gluten.

En cuanto a la textura tras 7 días del horneado, en general, no se observaron diferencias significativas entre los panes sin mejorante ni entre los panes con mejorante para ninguno de los parámetros texturales analizados (**Tabla 5**). Sin embargo, la dureza mostró diferencias significativas entre los panes sin mejorante y entre los panes con mejorante. En el caso de los panes sin mejorante, aquellos con un 2% de FC fueron los únicos en mostrar una menor dureza de forma significativa que el resto de muestras. Por otro lado, en el caso de los panes con mejorante, la dureza parece aumentar conforme aumenta el porcentaje de FC de los panes a excepción de los panes con un 1% de FC los cuales, presentan una dureza similar a la de los panes control. Por lo tanto, no se obtuvo una tendencia clara en el caso de los panes con mejorante.

Tabla 5. Parámetros de textura (dureza, elasticidad, cohesividad y resiliencia) de los panes sin y con mejorante, elaborados con diferentes porcentajes de Fibra Cítrica (FC), medidos a los 7 días.

Muestra	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Resiliencia
Sin Mejorante				
Control	13,54 ± 0,23b	0,834 ± 0,001a	0,378 ± 0,008a	0,141 ± 0,010a
0,5% FC	12,85 ± 1,13b	0,845 ± 0,032a	0,395 ± 0,001a	0,147 ± 0,009a
1% FC	12,35 ± 1,25b	0,882 ± 0,030a	0,398 ± 0,019a	0,151 ± 0,007a
2% FC	9,60 ± 0,70a	0,888 ± 0,017a	0,403 ± 0,001a	0,151 ± 0,001a
Con Mejorante				
Control	8,18 ± 0,86a	0,887 ± 0,033a	0,435 ± 0,014a	0,158 ± 0,000a
0,5% FC	11,83 ± 0,22b	0,835 ± 0,034a	0,429 ± 0,004a	0,153 ± 0,006a
1% FC	7,34 ± 0,96a	0,899 ± 0,019a	0,460 ± 0,035a	0,164 ± 0,007a
2% FC	10,92 ± 0,11b	0,879 ± 0,025a	0,450 ± 0,001a	0,160 ± 0,003a

Los datos se expresan como media ± desviación estándar de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los resultados relativos a la dureza de los panes tras 7 días del horneado (**Tabla 5**), podrían ser explicados por el hecho de que la FD es capaz de ralentizar la pérdida de agua por su elevada WBC y la retrogradación del almidón por una posible interacción entre la FD y el almidón (Gómez et al., 2003; Koletta et al., 2014; Tsatsaragkou et al., 2016). En base a estos resultados, se puede deducir que la FC permite retrasar el endurecimiento de los panes, mejorando así su vida útil durante un almacenamiento prolongado a temperatura ambiente. Estos resultados concuerdan con los de otros estudios que incorporaron diferentes tipos de FD con elevada WBC en panes y otros productos horneados (Gómez et al., 2003; Koletta et al., 2014; Korus et al., 2020; Bugarín y Gómez, 2023). Por ejemplo, Bugarín y Gómez, 2023 encontraron que la

dureza de los panes sin gluten a los 7 días del horneado aumentaba menos con respecto a la medida de dureza tras 24 h del horneado a medida que incrementaban la cantidad de FC de estos.

Por otro lado, no se ha detectado ningún efecto de la FC sobre la elasticidad, cohesividad y resiliencia de los panes tras 7 días del horneado (**Tabla 5**). Este resultado no es el esperado, puesto que se espera que la adición de FD con elevada WBC, como es el caso de la FC, produzcan panes con menor elasticidad, cohesividad y resiliencia en comparación con los panes control (Collar et al., 2009; Korus et al., 2020). Se espera esta tendencia debido a que la FD con elevada WBC es capaz de prevenir la desecación de los panes durante el almacenamiento haciendo que los panes enriquecidos con FD presenten una miga húmeda, blanda y susceptible a la deformación plástica (Korus et al., 2020).

Color

Aunque el color de la corteza puede verse afectado por el color de los ingredientes, este se ve influenciado principalmente por las reacciones de Maillard y de caramelización que se producen a elevadas temperaturas durante el horneado en presencia de aminoácidos y azúcares reductores (Gómez et al., 2003; Koletta et al., 2014; Aydogdu et al., 2018). Por otro lado, el color de la miga si está determinado en mayor medida por el color de los ingredientes puesto que la miga no alcanza temperaturas tan elevadas como para que se produzcan las reacciones de Maillard y de caramelización que ocurren en la corteza (Gómez et al., 2003; Koletta et al., 2014).

En general, los resultados sobre el color de la corteza y de la miga no mostraron diferencias significativas entre los panes sin mejorante ni entre los panes con mejorante para ninguna de las coordenadas $L^*a^*b^*$ (**Tabla 6**). Sin embargo, aunque los panes con mejorante y con 0,5% de FC obtuvieron una mayor a^* en la miga con respecto a los panes con mejorante con un 1% de FC, no se apreció una tendencia clara sobre dicha coordenada de color en la miga de los panes con mejorante.

Tabla 6. Parámetros de color de corteza y miga de los panes sin y con mejorante, elaborados con diferentes porcentajes de Fibra Cítrica (FC), medidos a las 24 horas.

Muestra	Corteza			Miga		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Sin Mejorante						
Control	51,64 ± 2,64a	17,12 ± 0,20a	27,81 ± 1,20a	63,62 ± 3,02a	5,56 ± 0,56a	15,96 ± 1,40a
0,5% FC	54,02 ± 2,71a	17,05 ± 0,61a	27,86 ± 0,38a	62,01 ± 2,20a	5,63 ± 0,13a	15,91 ± 0,39a
1% FC	55,28 ± 2,71a	16,73 ± 0,03a	27,98 ± 0,47a	61,52 ± 2,79a	5,28 ± 0,01a	15,32 ± 0,86a
2% FC	54,60 ± 3,66a	17,10 ± 0,31a	27,91 ± 0,68a	60,68 ± 4,80a	5,14 ± 0,29a	15,21 ± 1,07a
Con Mejorante						
Control	52,56 ± 0,00a	17,43 ± 0,23a	27,53 ± 0,02a	61,62 ± 0,32a	5,03 ± 0,13ab	14,89 ± 0,63a
0,5% FC	55,11 ± 4,20a	17,10 ± 1,07a	26,87 ± 0,88a	62,15 ± 2,16a	5,25 ± 0,17b	15,96 ± 0,36a
1% FC	52,90 ± 1,72a	17,34 ± 0,90a	27,09 ± 1,08a	62,47 ± 2,62a	4,88 ± 0,08a	15,49 ± 0,31a
2% FC	56,74 ± 3,25a	16,71 ± 0,03a	27,29 ± 0,65a	63,76 ± 0,81a	5,10 ± 0,07ab	15,70 ± 0,61a

Los datos se expresan como media ± desviación estándar de ensayos duplicados. Los valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Posiblemente, el nulo efecto de la FC sobre el color de la corteza se deba a que la FC no se añadió en cantidades suficientes como para variar significativamente el contenido de azúcares reductores y de aminoácidos de los panes. En consecuencia, no se produjeron variaciones en las reacciones de Maillard y de caramelización que produjeran cambios significativos en el color de la corteza de los panes. Por otro lado, el hecho de que la FC no tuviera un efecto significativo sobre el color de la miga de los panes probablemente también se deba a que la FC no se añadió en cantidades suficientes y/o a que el color de la FC (blanco-amarillento) no sea tan diferente al del resto de ingredientes del pan como para provocar un cambio de color significativo en la miga de los panes.

Otros estudios encontraron diferentes resultados en función del color y/o cantidad de FD añadida en panes y otros productos horneados (Gómez et al., 2003; Hoye y Ross, 2011; Aydogdu et al., 2018; Jahanbakhshi y Ansari, 2020). Por ejemplo, Gómez et al. (2003) obtuvieron resultados similares a los del presente estudio puesto que encontraron que, en general, los panes a los que añadieron un 2 % de diferentes tipos de FDs de color blanco o transparentes (FD de naranja, guisante, trigo y celulosa microcristalina) mostraron colores de corteza y de miga similares a los de los panes control. Sin embargo, cuando añadieron un 2% de FDs de color oscuro, como es el caso de la FD de cacao y café, obtuvieron panes con un color de corteza y de miga muy diferente al de los panes control. Finalmente, al añadir una mayor cantidad de FD de naranja (5 %), obtuvieron panes con un color de miga notablemente más oscuro que el control debido al color original de esta FD. Por otro lado, Aydogdu et al. (2018) obtuvieron resultados similares en bizcochos puesto que obtuvieron diferencias significativas entre el color de la corteza (evaluado con la diferencia de color, ΔE^*) de

los bizcochos que contenían un 5% y un 10% de FD de manzana y de limón y los bizcochos control.

Como se ha podido observar en este y los estudios mencionados, al incorporar cantidades bajas de FD y de color similar al del resto de ingredientes, no se logra un cambio significativo en el color de productos horneados. Sin embargo, al incorporar gran cantidad de FD y/o de color distinto al del resto de ingredientes, se consigue un efecto significativo sobre el color de productos horneados.

Evaluación sensorial

En general, no se apreciaron grandes diferencias entre los panes sin y con mejorante de los diferentes grupos experimentales (control, 0,5 % FC, 1 % FC y 2 % FC). Además, los panes con FC no mostraron sabores u olores negativos o no deseados. Sin embargo, el grupo de expertos pudo notar diferencias en la textura de los panes sin y con mejorante de los diferentes grupos experimentales. Los expertos coincidieron en que los panes sin y con mejorante con un 2% de FC presentaban una textura más dura o compacta que no se apreció en el resto de muestras. Sin embargo, esta evaluación sensorial no concuerda con los resultados de dureza obtenidos en el TPA (**Tabla 4**), aunque puede estar relacionada con el alveolado más cerrado de la miga de estos panes como se aprecia en las imágenes de las rebanadas (**Figura 2 y 3**).

4. Conclusiones

En este trabajo se encontró que la FC presenta una mayor WBC que la harina de trigo utilizada. La mayor WBC de la FC ha provocado que la adición de un 2% de FC a la harina de trigo produjese un ligero incremento de la viscosidad de la mezcla harina-FC en agua. Sin embargo, este ligero incremento en la viscosidad de la mezcla harina-FC no se ha traducido en efectos significativos sobre las propiedades físicas y sensoriales de los panes resultantes con respecto a los panes control. Por otro lado, el hecho de no haber encontrado diferencias significativas en la pérdida de peso entre los panes con FC y los panes control, sugiere que el agua que se ha añadido adicionalmente a los panes con FC no se ha perdido. En consecuencia, la adición de FC a bajas concentraciones (hasta un 2%) sumado a una correcta hidratación de la masa (mediante farinógrafo) ha permitido incrementar el rendimiento panadero.

Por lo tanto, los resultados de este trabajo permiten demostrar que la adición de FC a bajas concentraciones (concretamente, un 2%) en panes permite mejorar la vida útil y el rendimiento panadero sin producir cambios importantes en las propiedades

físicas y sensoriales del pan. Esto convierte a la FC en un ingrediente con gran aplicabilidad en la industria panadera.

En vista de los resultados obtenidos, en futuros estudios sería interesante averiguar cuál es el porcentaje óptimo de adición de FC en panes. Entendiendo el porcentaje óptimo de adición de FC como el porcentaje de FC que proporcione el máximo rendimiento panadero, la mayor mejora nutricional y la mayor mejora de vida útil sin afectar a las propiedades físicas y sensoriales de los panes. Una vez obtenido dicho porcentaje óptimo, sería conveniente realizar una evaluación sensorial de aceptabilidad con consumidores. Además, también sería interesante averiguar el porcentaje óptimo de adición de FC para otros productos horneados a base de cereales, como otros tipos de panes (p. ej., pan integral), bizcochos, magdalenas, etc.

5. Bibliografía

- AACC. (2012a). Method 56–30.01. Water Hydration Capacity of Protein Materials. American Association of Cereal Chemists. St Paul, Minnesota, USA.
- AACC. (2012b). Method 76–21.02. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser. American Association of Cereal Chemists. St Paul, Minnesota, USA.
- Alba, K., Rizou, T., Paraskevopoulou, A., Campbell, G. M., & Kontogiorgos, V. (2020). Effects of blackcurrant fibre on dough physical properties and bread quality characteristics. *Food Biophysics*, 15, 313-322. <https://doi.org/10.1007/s11483-020-09627-x>.
- Ang, J.F. (2001). Powdered cellulose and development of new generation healthier foods. *Cereal Food World*, 46, 107-111.
- Aydogdu, A., Sumnu, G., & Sahin, S. (2018). Effects of addition of different fibers on rheological characteristics of cake batter and quality of cakes. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 667-677. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2976-y>.
- Belorio, M., Marcondes, G., & Gómez, M. (2020). Influence of psyllium versus xanthan gum in starch properties. *Food Hydrocolloids*, 105, 105843. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105843>
- Benavente-García, O., Castillo, J., Marín, F. R., Ortuño, A., & Del Río, J. A. (1997). Uses and properties of citrus flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 4505-4515. <https://doi.org/10.1021/jf970373s>.

- Brockmole, C. L., & Zabik, M. E. (1976). Wheat bran and middlings in white layer cakes. *Journal of Food Science*, 41, 357–360. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1976.tb00618.x>.
- Bugarín, R., & Gómez, M. (2023). Can Citrus Fiber Improve the Quality of Gluten-Free Breads?. *Foods*, 12, 1357. <https://doi.org/10.3390/foods12071357>.
- Chang, R. C., Li, C., & Shiao S. Y. (2015). Physico-chemical and sensory properties of bread enriched with lemon pomace fiber. *Czech Journal Food Sciences*, 33,180–185. <https://doi.org/10.17221/496/2014-CJFS>.
- Collar, C., Rosell, C. M., Muguerza, B., & Moulay, L. (2009). Breadmaking performance and keeping behavior of cocoa-soluble fiber-enriched wheat breads. *Food Science and Technology International*, 15, 79-87. <https://doi.org/10.1177/1082013208102643>.
- De Erive, M. O., He, F., Wang, T., & Chen, G. (2020). Development of β -glucan enriched wheat bread using soluble oat fiber. *Journal of Cereal Science*, 95, 103051. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103051>.
- Del Carmen, R. R. M., Ortega-Robles, E., Monterrubio-López, R., Mora-Escobedo, R., & del Carmen B. O. M. (2020). Barley bread with improved sensory and antioxidant properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100279. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100279>.
- Dubois, D. K. (1978). The practical application of fiber materials in bread production. *Baker's Digest*. 52, 30-33.
- Fendri, L. B., Chaari, F., Maaloul, M., Kallel, F., Abdelkafi, L., Chaabouni, S. E., & Ghribi-Aydi, D. (2016). Wheat bread enrichment by pea and broad bean pods fibers: Effect on dough rheology and bread quality. *LWT*, 73, 584-591. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.070>.
- Fernández-López, J., Fernández-Ginés, J. M., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Alvarez, J. A. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.08.007>.
- Franco, M., & Gómez, M. (2022). Effect of psyllium on physical properties, composition and acceptability of whole grain breads. *Foods*, 11, 1685. <https://doi.org/10.3390/foods11121685>.

- Fratelli, C., Santos, F. G., Muniz, D. G., Habu, S., Braga, A. R. C., & Capriles, V. D. (2021). Psyllium improves the quality and shelf life of gluten-free bread. *Foods*, 10, 954. <https://doi.org/10.3390/foods10050954>.
- Fu, J. T., Chang, Y. H., & Shiau, S. Y. (2015). Rheological, antioxidative and sensory properties of dough and Mantou (steamed bread) enriched with lemon fiber. *LWT-Food Science and Technology*, 61, 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.034>.
- Garau, M. C., Simal, S., Rossello, C., & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104, 1014-1024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.009>.
- Gill, S., Vasanthan, T., Ooraikul, B., & Rossnagel, B. (2002). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. *Journal of Cereal Science*, 36, 219-237. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0458>.
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 216, 51-56. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0632-9>.
- Gómez, 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, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.012>.
- Gordon D. T. (1989) Functional properties vs. physiological action of total dietary fibre. *Cereal Foods World*, 34, 517.
- Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Park, Y. S., Haruenkit, R., Lojek, A., Číž, M., Caspi, A., Libman, I., & Trakhtenberg, S. (2001). Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food Chemistry*, 74, 309-315. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00157-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00157-1).
- Grigelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (1999). Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and from cereals. *LWT-Food Science and Technology*, 32, 503-508. <https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0587>.

- Hoye, Jr. C., & Ross, C. F. (2011). Total phenolic content, consumer acceptance, and instrumental analysis of bread made with grape seed flour. *Journal of Food Science*, 76, S428-S436. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02324.x>.
- Humble, C. G., Malarcher, A. M., & Tyroler, H. A. (1993). Dietary fiber and coronary heart disease in middle-aged hypercholesterolemic men. *American Journal of Preventive Medicine*, 9, 197–202. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(18\)30715-3](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(18)30715-3).
- Jahanbakhshi, R., & Ansari, S. (2020). Physicochemical properties of sponge cake fortified by olive stone powder. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2020/1493638>.
- Kaack, K., Pedersen, L., Laerke, H. N., & Meyer, A. (2006) New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread. *European Food Research and Technology*, 224, 199–207. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0301-5>
- Kendall, C. W., Esfahani, A., & Jenkins, D. J. (2010). The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloids*, 24, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.08.002>.
- Koletta, P., Irakli, M., Papageorgiou, M., & Skendi, A. (2014). Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 60, 561-568. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.08.003>.
- Korus, J., Juszczak, L., Witczak, M., & Ziobro, R. (2020). Effect of citrus fiber on the rheological properties of dough and quality of the gluten-free bread. *Applied Sciences*, 10, 6633. <https://doi.org/10.3390/app10196633>.
- Kritchevsky, D. (2001). Caloric restriction and cancer. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 47, 13–19. <https://doi.org/10.3177/jnsv.47.13>.
- Kromhout, D., Bosschieter, E. B., & De Lezenne Coulander, C. (1982). Dietary fibre and 10-year mortality from coronary heart disease, cancer, and all causes: The Zutphen Study. *Lancet*, 320, 518–522. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(82\)90600-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(82)90600-6).
- Lairon, D., Arnault, N., Bertrais, S., Planells, R., Clero, E., Hercberg, S., & Boutron-Ruault, M. C. (2005) Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82, 1185–1194. <https://doi.org/10.1093/ajcn/82.6.1185>.

- Lario, Y., Sendra, E., García-Pérez, J., Fuentes, C., Sayas-Barbera, E., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5, 113-117. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2003.08.001>.
- Lebesi, D. M., & Tzia, C. (2011). Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 710-722. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0181-3>.
- Lee, C. C., & Lin, S. D. (2008). Effect of GABA tea on quality characteristics of chiffon cake. *Cereal Chemistry*, 85, 31–38. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-1-0031>.
- Lee, S., Inglett, G. E., & Carriere, C. J. (2004). Effect of nutrium oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. *Cereal Chemistry*, 81, 637–642. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.5.637>.
- Liu, N., Ma, S., Li, L., & Wang, X. (2019). Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough. *Grain & Oil Science and Technology*, 2, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.04.005>.
- Lundberg, B. (2005). Using highly expanded citrus fiber to improve the quality and nutritional properties of foods. *Cereal Foods World*, 50, 248-252.
- Lundberg, B., Pan, X., White, A., Chau, H., & Hotchkiss, A. (2014). Rheology and composition of citrus fiber. *Journal of Food Engineering*, 125, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.021>.
- Majzoobi, M., Farahnaky, A., Nematolahy, Z., Mohamadi, H. M., & Taghipour, A. M. (2013). Effect of different levels and particle sizes of wheat bran on the quality of flat bread. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, 115–23.
- Marín, F. R., Martínez, M., Uribealago, T., Castillo, S., & Frutos, M. J. (2002). Changes on nutraceutical composition of lemon juices according to different industrial extracting systems. *Food Chemistry*, 78, 319–324. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00102-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00102-4).
- Marín, F. R., Soler-Rivas, C., Benavente-García, O., Castillo, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2007). By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres. *Food Chemistry*, 100, 736-741. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.040>.

- Martins, Z. E., Pinho, O., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2017). Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 106–128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.003>
- Miller, R. A. (2011). Increased yield of bread containing citrus peel fiber. *Cereal Chemistry*, 88, 174-178. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-11-10-0161>.
- Ocen, D., & Xu, X. (2013). Effect of citrus orange (*Citrus sinensis*) by-product dietary fiber preparations on the quality characteristics of frozen dough bread. *American Journal of Food Technology*, 8, 43–53. <https://doi.org/10.3923/ajft.2013.43.53>.
- O'Shea, N., Roble, C., Arendt, E., & Gallagher, E. (2015). Modelling the effects of orange pomace using response surface design for gluten-free bread baking. *Food Chemistry*, 166, 23-230. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.157>.
- Ozturk, O. K., & Mert, B. (2018). The use of microfluidization for the production of xanthan and citrus fiber-based gluten-free corn breads. *LWT*, 96, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.025>.
- Piazza, L., & Masi, P. (1995). Moisture redistribution throughout the bread loaf during staling and its effect on mechanical properties. *Cereal Chemistry*, 72, 320–325.
- Pomeranz, Y., Shogren, M. D., Finney, K. F., & Bechtel, D. B. (1977). Fibre in breadmaking. Effects on functional properties. *Cereal Chemistry* 54, 25–41.
- Qi, J. R., Song, L. W., Zeng, W. Q., & Liao, J. S. (2021). Citrus fiber for the stabilization of O/W emulsion through combination of Pickering effect and fiber-based network. *Food Chemistry*, 343, 128523. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128523>.
- Raghavendra, S. N., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S. & Tharanathan R. N. (2004) Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *European Food Research and Technology*, 218, 563-567. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0889-2>
- Rivera, J. A., & Flores, E. (2022). La fibra dietética como ingrediente funcional en la formulación de productos cárnicos. *Tecnociencia Chihuahua*, 16, 892. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.892>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.010>.

- Seal, C. J., Courtin, C. M., Venema, K. & de Vries, J. (2021) Health benefits of whole grain: Effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20, 2742–2768. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12728>.
- Spina, A., Brighina, S., Muccilli, S., Mazzaglia, A., Fabroni, S., Fallico, B., Rapisarda, P., & Arena, E. (2019). Wholegrain durum wheat bread fortified with citrus fibers: Evaluation of quality parameters during long storage. *Frontiers in Nutrition*, 6, 13. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00013>.
- Tsatsaragkou, K., Protonotariou, S., & Mandala, I. (2016). Structural role of fibre addition to increase knowledge of non-gluten bread. *Journal of Cereal Science*, 67, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.10.003>.
- Tungland, B., & Meyer, D. (2006). Nondigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1, 90-109. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2002.tb00009.x>.
- Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016) Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 69, 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.005>.
- Wang, J., Rosell, C. M., & de Barber, C. B. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221-226. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8).
- Wang, L., Ye, F., Li, S., Wei, F., Chen, J., & Zhao, G. (2017). Wheat flour enriched with oat β -glucan: A study of hydration, rheological and fermentation properties of dough. *Journal of Cereal Science*, 75, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.004>.
- Weber, C. W., Kohlhepp, E. A., Idouraine, A., & Ochoa, L. J. (1993). Binding capacity of 18 fiber sources for calcium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41, 1931-1935. <https://doi.org/10.1021/jf00035a023>.
- Wheeler, M. L., & Pi-Sunyer, F. X. (2008) Carbohydrate Issues: type and amount. *Journal of the American Dietetic Association*, 108, 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2008.01.024>

Wu, M., Chang, Y., Shiau, S., & Chen, C. (2012). Rheology of fiber-enriched steamed bread: stress relaxation and texture profile analysis. *Journal of Food and Drug Analysis*, 20, 133–142. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2083>.

6. Anexos

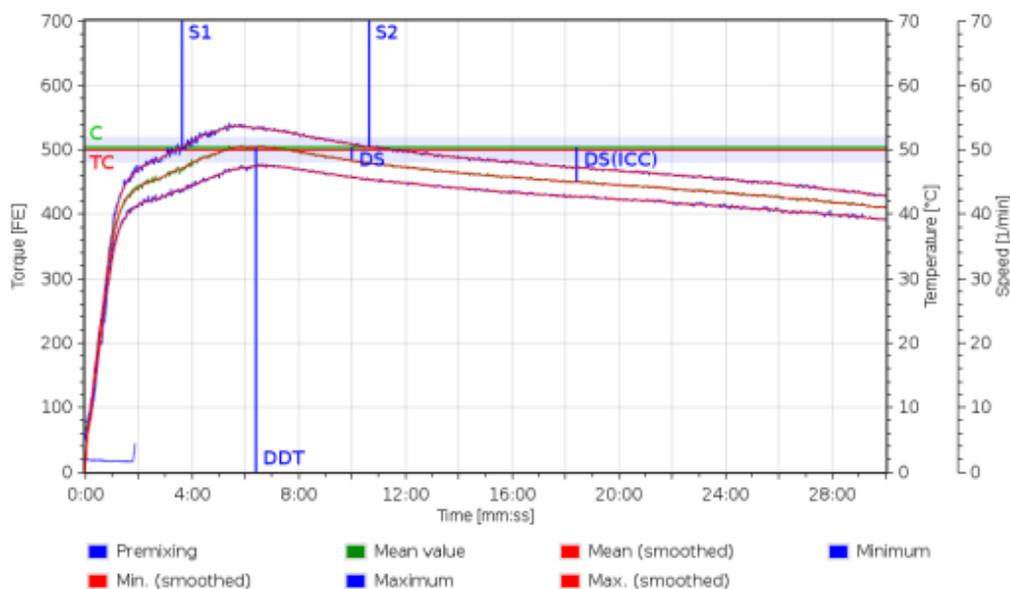
Anexo 1. Parámetros farinográficos de las muestras de harina de trigo (control) y sus mezclas con Fibra Cítrica (FC) (0,5% FC, 1% FC y 2% FC).

Anexo 1.1. Parámetros farinográficos de la muestra de harina de trigo (control).

Brabender

Farinograph®-AT
Version 2.1.4

Prueba	22435 HARINA BLANCA	ID	B8amnrj0s51
Orden	CONTROL 010922	Fecha	30/9/22 10:31
Usuario	IS		
Método	Brabender ICC BIPEA 300		
Evaluación	Brabender_ICC_BIPEA	Número de revoluciones	63,0 l/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	30:00 mm:ss
Peso de muestra	289,9 g	Información sobre la amasadora	0000000
Humedad de la harina	11,0 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	65,8 %	Consistencia estándar	500 FE
Etiquetas			



Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	30:00	mm:ss	Tiempo de medición
DT	26,7	°C	Temperatura de dosificación
DDT	06:24	mm:ss	Tiempo de desarrollo de masa
C	504	FE	Consistencia
WZ	65,8	%	Adición de agua
WAC	65,9	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	62,5	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	07:01	mm:ss	Estabilidad
DS	21	FE	Consistencia de la masa (10 min. después de iniciar)
DS(ICC)	54	FE	Ablandamiento de la masa (12 min. después de máx.)
FQN	116	mm	Número de calidad Farinograph

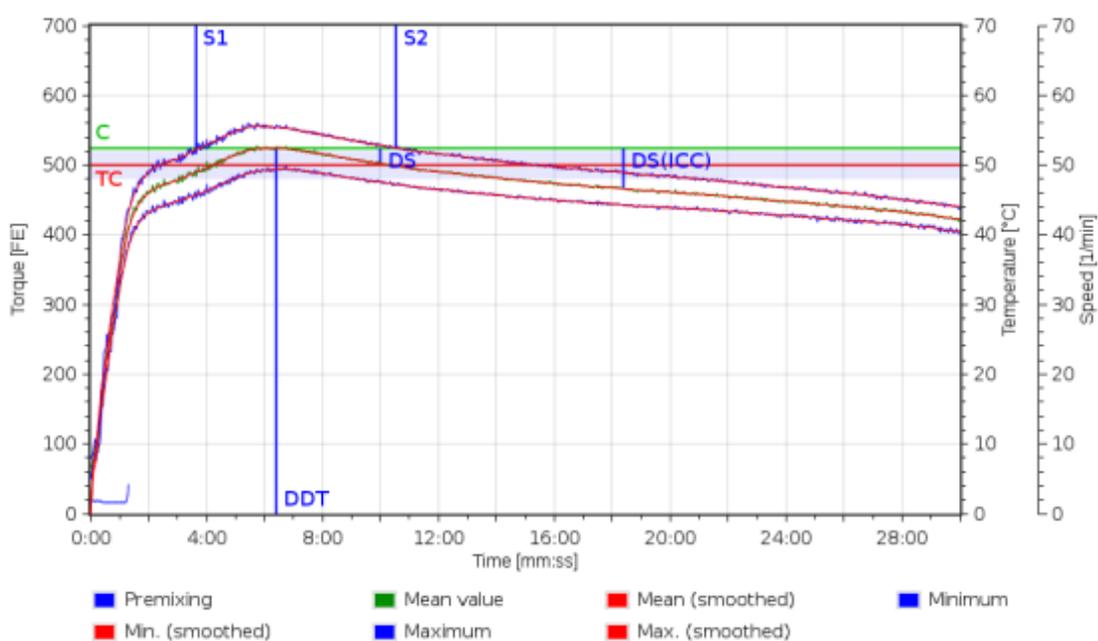


Anexo 1.2. Parámetros farinográficos de la muestra de harina de trigo con un 0,5 % de Fibra Cítrica (FC).

Brabender

Farinograph®-AT
Version 2.1.4

Prueba	22436 HARINA 040922 + FIBRA CITRICA 0.5%	ID	B8amnirj0ud3
Orden	22436	Fecha	30/9/22 11:08
Usuario	IS		
Método	Brabender ICC BIPEA 300		
Evaluación	Brabender_ICC_BIPEA	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	30:00 mm:ss
Peso de muestra	289,6 g	Información sobre la amasadora	0000000
Humedad de la harina	10,9 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	66,5 %	Consistencia estándar	500 FE
Etiquetas			



Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	30:00	mm:ss	Tiempo de medición
DT	26,9	°C	Temperatura de dosificación
DDT	06:24	mm:ss	Tiempo de desarrollo de masa
C	524	FE	Consistencia
WZ	66,5	%	Adición de agua
WAC	67,1	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	63,6	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	06:54	mm:ss	Estabilidad
DS	22	FE	Consistencia de la masa (10 min. después de iniciar)
DS(ICC)	58	FE	Ablandamiento de la masa (12 min. después de máx.)
FQN	112	mm	Número de calidad Farinograph

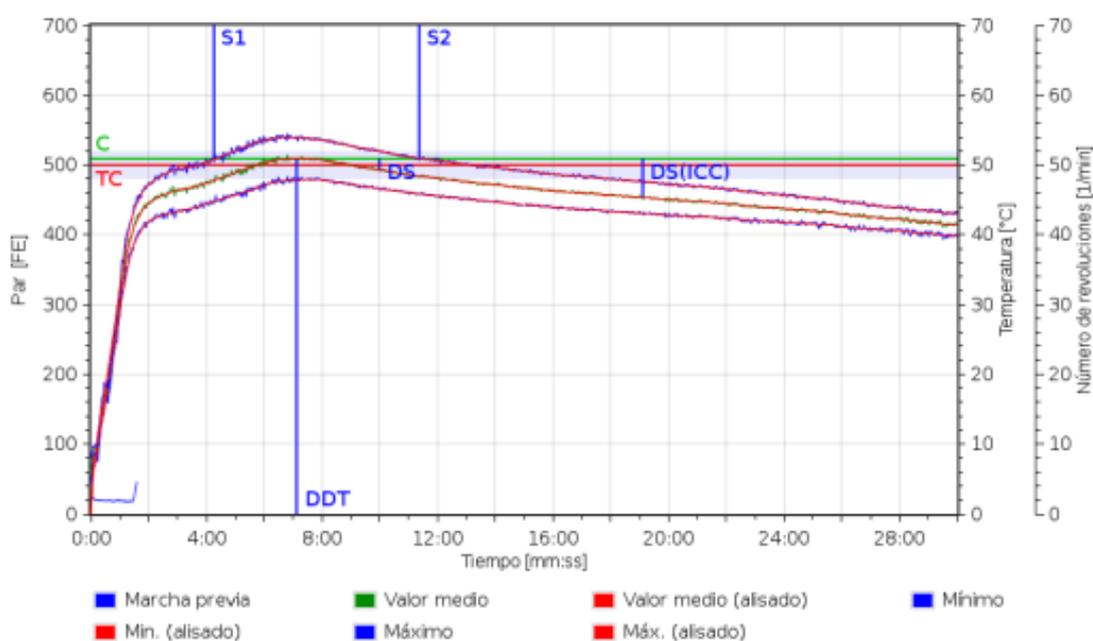


Anexo 1.3. Parámetros farinográficos de la muestra de harina de trigo con un 1 % de Fibra Cítrica (FC).

Brabender

Farinograph®-AT
Version 2.1.4

Prueba	22437 HARINA 040922 + FIBRA CITRICA 1%	ID	B8amnrj6gth
Orden	22437	Fecha	3/10/22 12:00
Usuario	IS		
Método	Brabender ICC BIPEA 300		
Evaluación	Brabender_ICC_BIPEA	Número de revoluciones	63,0 l/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	30:00 mm:ss
Peso de muestra	289,6 g	Información sobre la amasadora	0000000
Humedad de la harina	10,9 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	69,0 %	Consistencia estándar	500 FE
Etiquetas			



Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	30:00	mm:ss	Tiempo de medición
DT	26,8	°C	Temperatura de dosificación
DDT	07:08	mm:ss	Tiempo de desarrollo de masa
C	509	FE	Consistencia
WZ	69,0	%	Adición de agua
WAC	69,2	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	65,7	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	07:06	mm:ss	Estabilidad
DS	16	FE	Consistencia de la masa (10 min. después de iniciar)
DS(ICC)	56	FE	Ablandamiento de la masa (12 min. después de máx.)
FQN	123	mm	Número de calidad Farinograph

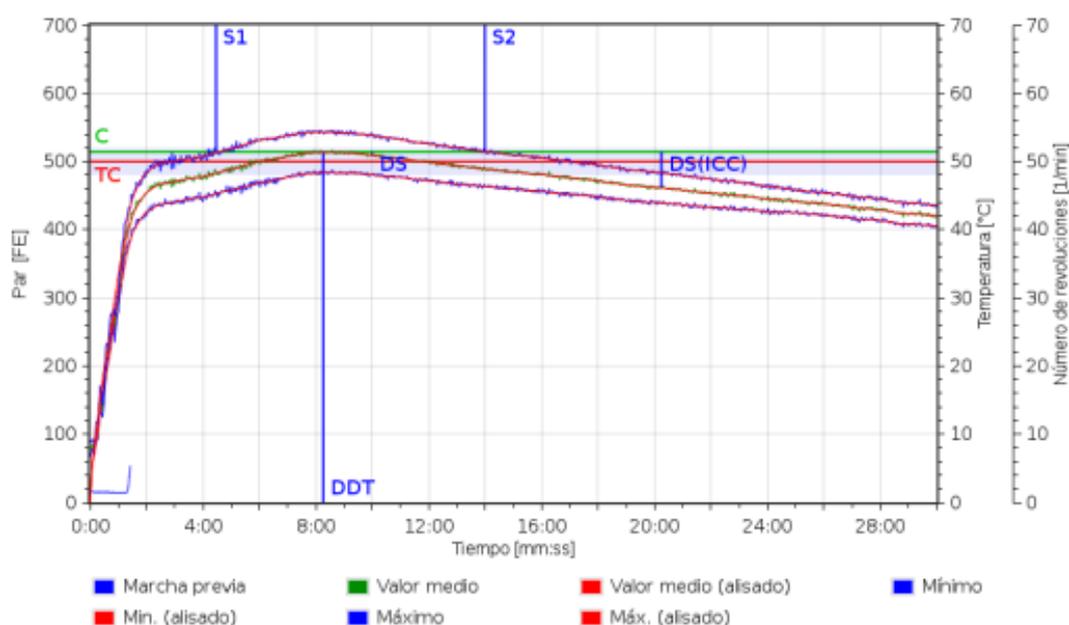


Anexo 1.4. Parámetros farinográficos de la muestra de harina de trigo con un 2 % de Fibra Cítrica (FC).

Brabender

Farinograph®-AT
Version 2.1.4

Prueba	22438 HARINA 040922 + FIBRA CITRICA 2%	ID	B8amnirj6e6b
Orden	22438	Fecha	3/10/22 11:06
Usuario	IS		
Método	Brabender ICC BIPEA 300		
Evaluación	Brabender_ICC_BIPEA	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	30:00 mm:ss
Peso de muestra	288,9 g	Información sobre la amasadora	0000000
Humedad de la harina	10,7 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	72,2 %	Consistencia estándar	500 FE
Etiquetas			



Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	30:00	mm:ss	Tiempo de medición
DT	26,8	°C	Temperatura de dosificación
DDT	08:16	mm:ss	Tiempo de desarrollo de masa
C	514	FE	Consistencia
WZ	72,2	%	Adición de agua
WAC	72,6	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	68,9	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	09:32	mm:ss	Estabilidad
DS	5	FE	Consistencia de la masa (10 min. después de iniciar)
DS(ICC)	53	FE	Ablandamiento de la masa (12 min. después de máx.)
FQN	151	mm	Número de calidad Farinograph

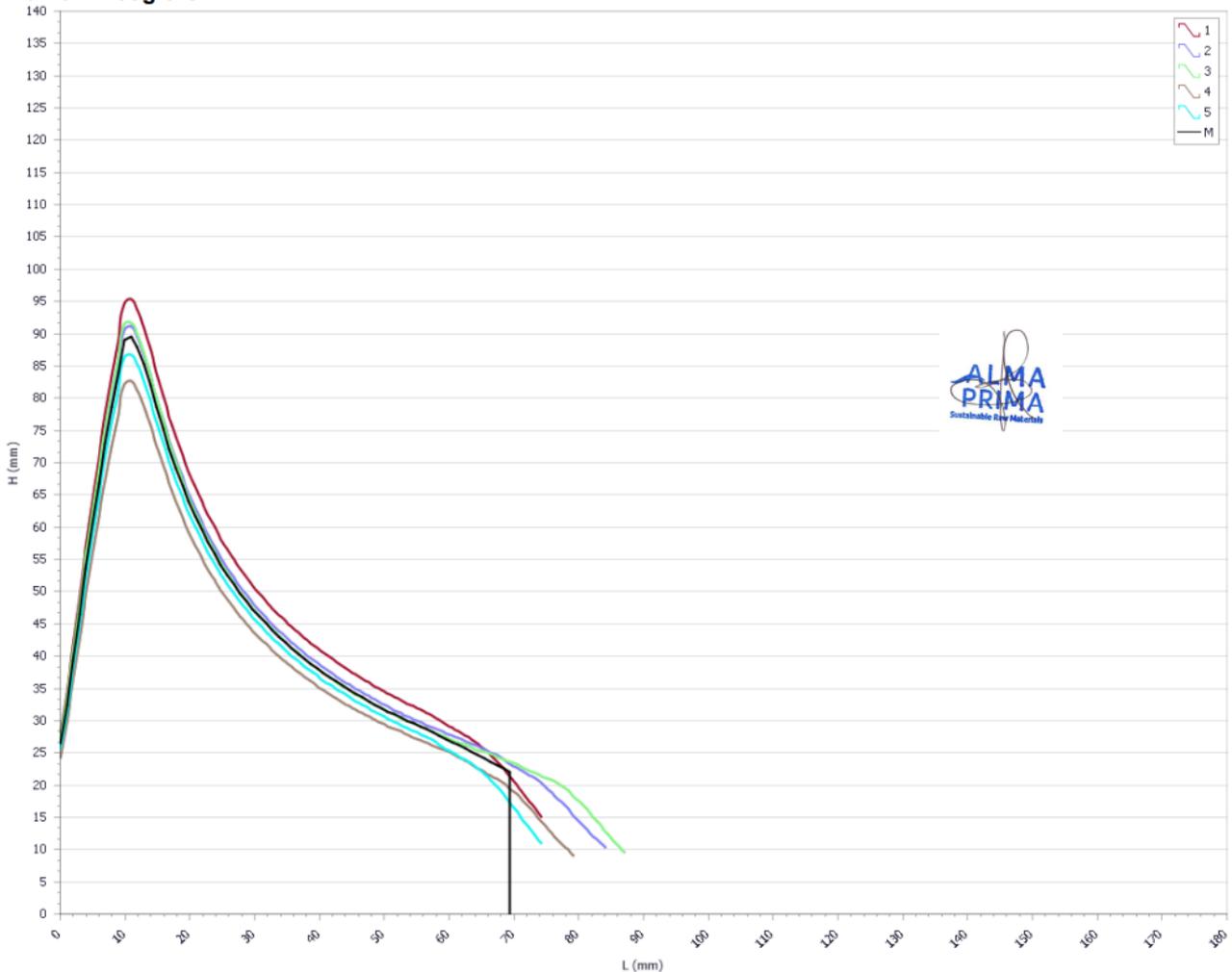


Anexo 2. Parámetros alveográficos y curvas alveográficas de las muestras de harina de trigo (control) y sus mezclas con Fibra Cítrica (FC) (0,5% FC, 1% FC y 2% FC).

Anexo 2.1. Parámetros y curvas alveográficas para la muestra de harina de trigo (control). En las curvas del alveógrafo se incluyen los resultados para 5 repeticiones y la media de estas (M).

Temperatura	Parámetros	Resultados estándar
Agua : 20,2 °C Amasadora : 24 °C Cámara de reposo : 25 °C Cámara de Alveo : 20,4 °C	Higrometría : 59 % porcentaje Humedad : 11,01 % porcentaje Hidratación : 50 % porcentaje Base de hidratación : B15% H2O Cantidad de agua : 142,6 mL Peso de harina : 250 g	P : 99 mmH2O L : 69 mm G : 18,4 W : 212 10-4J P/L : 1,43 Ie : 42,6 %

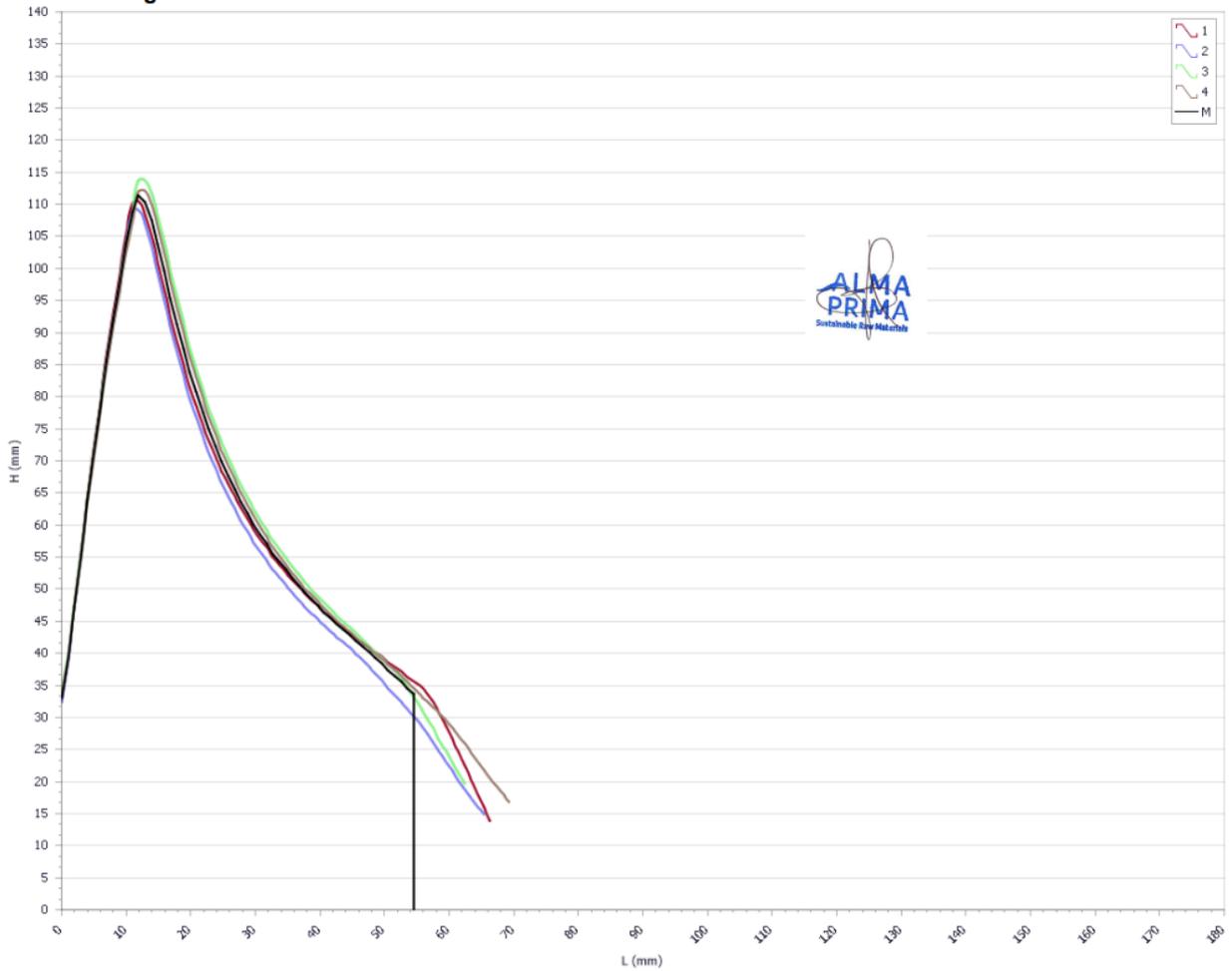
Curva Alveógrafo



Anexo 2.2. Parámetros y curvas alveográficas para la muestra de harina de trigo con un 0,5 % de Fibra Cítrica (FC). En las curvas del alveógrafo se incluyen los resultados para 5 repeticiones y la media de estas (M).

Temperatura	Parámetros	Resultados estándar
Agua : 20,2 °C	Higrometría : 58 % porcentaje	P : 123 mmH2O
Amasadora : 24,5 °C	Humedad : 10,93 % porcentaje	L : 55 mm
Cámara de reposo : 21,6 °C	Hidratación : 50 % porcentaje	G : 16,5
Cámara de Alveo : 20 °C	Base de hidratación : B15% H2O	W : 233 10-4J
	Cantidad de agua : 142,96 mL	P/L : 2,24
	Peso de harina : 250 g	le : 42,6 %

Curva Alveógrafo



Anexo 2.3. Parámetros y curvas alveográficas para la muestra de harina de trigo con un 1 % de Fibra Cítrica (FC). En las curvas del alveógrafo se incluyen los resultados para 5 repeticiones y la media de estas (M).

Temperatura

Agua : 21,4 °C
 Amasadora : 24,1 °C
 Cámara de reposo : 25,1 °C
 Cámara de Alveo : 20,8 °C

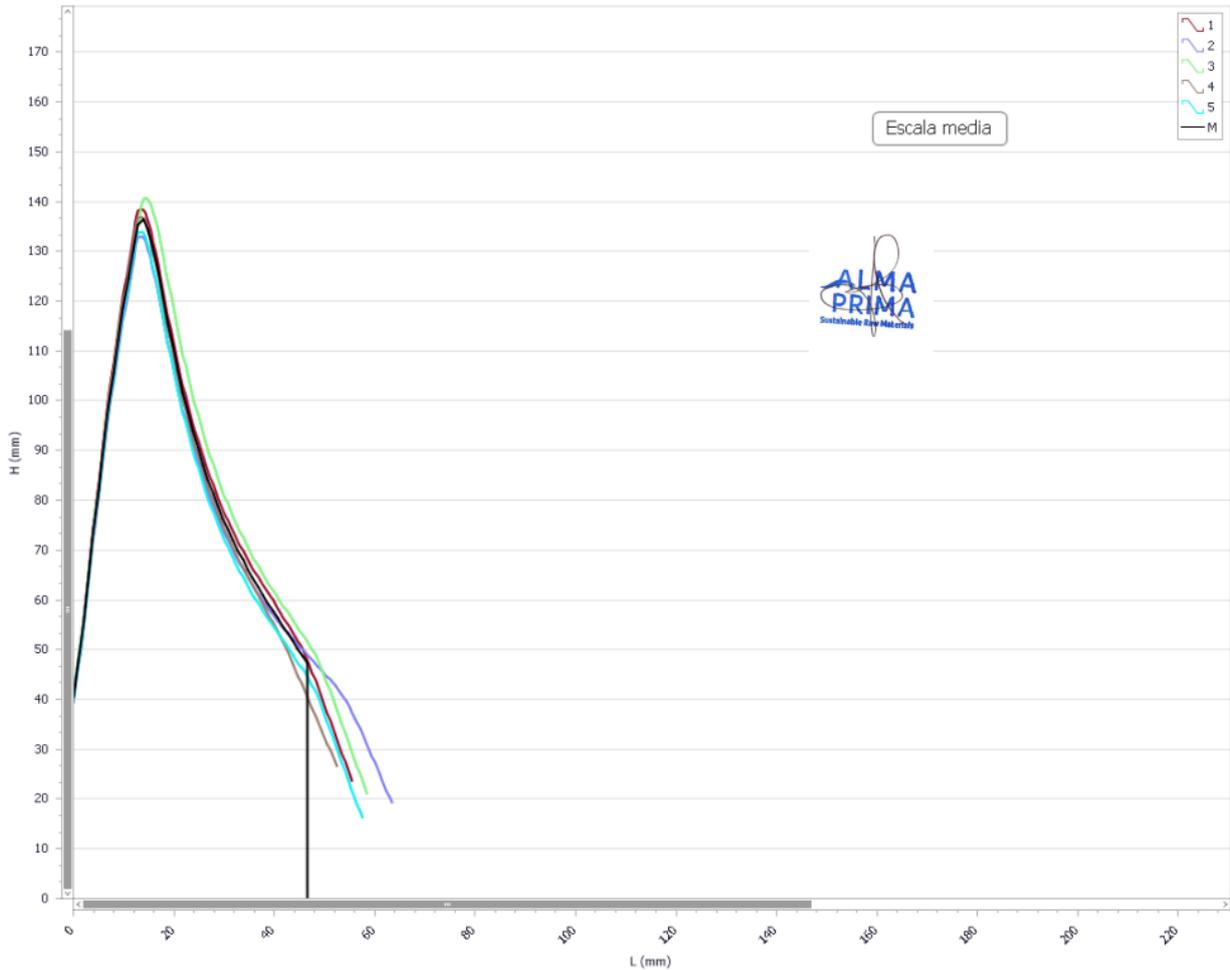
Parámetros

Higrometría : 60 % porcentaje
 Humedad : 10,9 % porcentaje
 Hidratación : 50 % porcentaje
 Base de hidratación : B15% H2O
 Cantidad de agua : 143,09 mL
 Peso de harina : 250 g

Resultados estándar

P : 150 mmH2O
 L : 46 mm
 G : 15,1
 W : 263 10-4J
 P/L : 3,26
 Ie : 42,5 %

Curva Alveógrafo



Anexo 2.4. Parámetros y curvas alveográficas para la muestra de harina de trigo con un 2 % de Fibra Cítrica (FC). En las curvas del alveógrafo se incluyen los resultados para 5 repeticiones y la media de estas (M).

Temperatura	Parámetros	Resultados estándar
Agua : 21,6 °C Amasadora : 24,4 °C Cámara de reposo : 23,6 °C Cámara de Alveo : 20,6 °C	Higrometría : 60 % porcentaje Humedad : 10,74 % porcentaje Hidratación : 50 % porcentaje Base de hidratación : B15% H2O Cantidad de agua : 143,79 mL Peso de harina : 250 g	P : 206 mmH2O L : 35 mm G : 13,1 W : 316 10-4J P/L : 5,89 Ie : 0 %

Curva Alveógrafo

