



MEJORA NUTRICIONAL DE BIZCOCHOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE FIBRA CÍTRICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO ACADÉMICO 2022/2023

Alumno: Marina Braojos García

Tutor: Manuel Gómez Pallarés

Cotutor: Laura Román Rivas

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos

E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus La Yutera (Palencia)

Universidad de Valladolid

Índice

1. Introducción	1
2. Materiales y métodos	3
2.1. Materiales.....	3
2.2. Métodos	4
2.2.1. Elaboración de los bizcochos.....	4
2.2.2. Propiedades de la harina y de la mezcla harina-FC	5
2.2.3. Propiedades del batido	5
2.2.4. Propiedades físicas del bizcocho	6
2.2.5. Análisis sensorial	8
2.2.6. Análisis estadístico.....	8
3. Resultados y discusión	8
3.1. Propiedades de la harina y de la mezcla harina-FC	9
3.2. Propiedades del batido.....	10
3.3. Propiedades físicas del bizcocho	13
3.3.1. Pérdida de peso y volumen específico.....	13
3.3.2. Textura.....	17
3.3.3. Color de la corteza y miga	19
3.4. Análisis sensorial.....	21
4. Conclusiones	22
5. Bibliografía.....	23
6. Anexos.....	31

Resumen

Las pieles de los cítricos son los principales subproductos generados por la industria procesadora de cítricos, que suponen un problema económico y medioambiental. Sin embargo, son fuentes prometedoras de componentes con interesantes propiedades tecnológicas y nutricionales, como es la fibra cítrica (FC). Por ello, en este estudio se utilizó la FC para sustituir 0, 1, 2, 4 y 6 % de la harina de trigo en bizcochos *layer* y *sponge*, con el objetivo de evaluar sus efectos sobre las propiedades del batido (densidad, viscosidad y microestructura), las propiedades físicas (pérdida de peso, volumen específico, textura y color) y sensoriales (aspecto visual, olor, textura, sabor y valoración global), así como su potencial para retardar el proceso de envejecimiento. La incorporación de FC en los bizcochos *layer* aumentó significativamente la densidad y la viscosidad del batido. Además, los porcentajes más altos de FC en *layer* disminuyeron el volumen específico de los bizcochos, aumentaron la dureza y disminuyeron la elasticidad, cohesividad y resiliencia de la miga. El porcentaje más alto de FC en *layer* limitó el endurecimiento de la miga durante el almacenamiento. No obstante, en los bizcochos tipo *sponge* solo se observó una disminución en el volumen específico a partir de FC 4% con respecto FC 1%. Por otro lado, algunos de los bizcochos experimentaron un cambio en el color de la corteza y de la miga. La aceptabilidad sensorial de los bizcochos *layer* disminuyó al aumentar el nivel de sustitución mientras que la de los bizcochos *sponge* aumentó. Acorde a estos resultados, los bizcochos tipo *sponge* aceptan una mayor incorporación de FC que los *layer*.

Palabras clave: Fibra cítrica, bizcocho, batido, viscosidad, capacidad de retención de agua.

Abstract

Citrus peels are the main by-products generated by the citrus processing industry, which pose an economic and environmental problem. However, they are promising sources of components with interesting technological and nutritional properties, such as citrus fiber (CF). In this study, CF was used to replace 0, 1, 2, 4 and 6 % of wheat flour in layer and sponge cakes, with the aim of evaluating its effects on their batter properties (density, viscosity and microstructure), physical properties (weight loss, specific volume, texture and color), sensory perception (visual aspect, odour, texture, taste and overall acceptability) and their potential to retard staling. The incorporation of CF in layer cakes significantly increased the batter density and viscosity. In addition, higher levels of CF in layer cakes decreased the cake specific volume, increased the crumb hardness and decreased the elasticity, cohesiveness and resilience. The higher level of CF in layer limited the hardening of the crumb during storage. However, in sponge cakes a decrease

in specific volume was only observed from FC 4% with respect to FC 1%. On the other hand, some of the cakes experienced a change in the crust and crumb color. The sensory acceptability of the layer cakes decreased with increasing levels of substitution while the acceptability of sponge cakes increased. According to these results, sponge cakes accept a higher percentage of CF than layer cakes.

Keywords: Citrus fiber, cakes, batter, viscosity, water binding capacity.

1. Introducción

A nivel mundial, se estima que alrededor de un tercio de todos los alimentos destinados al consumo humano se pierden o desperdician, lo que equivale a 1.300 millones de toneladas cada año (Gustavsson et al., 2011). Dentro de la industria alimentaria, el sector de frutas y verduras destaca por generar un 50% de subproductos (Gustavsson et al., 2011; Padayachee et al., 2017). Un ejemplo significativo es la industria procesadora de cítricos, la cual produce anualmente más de 15 millones de toneladas de subproductos (Cohn y Cohn, 1997). La eliminación de estos subproductos conlleva un impacto tanto económico como medioambiental (Vilariño et al., 2017; Zema et al., 2018). En esta línea, la Unión Europea enfatiza la urgencia de promover la sostenibilidad de los sistemas alimentarios y la transición hacia una economía circular (Unión Europea, 2008). La mayoría de los subproductos han sido reutilizados como alimento para animales, fuentes de combustible o como fertilizantes orgánicos (Famuyiwa y Ough, 1982; Ben-Othman et al., 2020). No obstante, dada la crisis ambiental actual, las industrias alimentarias están explorando oportunidades más valiosas para reaprovechar estos subproductos y reintroducirlos en la cadena alimentaria, ya que muchos de ellos son fuentes prometedoras de componentes o ingredientes que pueden ser utilizados debido a sus valiosas propiedades tecnológicas y/o nutricionales (Ben-Othman et al., 2020).

La fibra cítrica es un compuesto vegetal extraído principalmente de la piel de los cítricos, subproducto originado en la industria de extracción de zumo y pectina (Marín et al., 2007; Liu et al., 2012; Rafiq et al., 2018). Se compone mayoritariamente por hidratos de carbono, que representan aproximadamente el 80% de su composición total (Lundberg et al., 2014) y, por tanto, son grandes responsables de su funcionalidad. Los hidratos de carbono predominantes de las fibras cítricas son la pectina (42,25%) y la celulosa (15,95%) (Lundberg et al., 2014). La pectina es un polisacárido soluble que forma una matriz en la pared celular de los cítricos, intercalándose con celulosa y hemicelulosa (Waldron et al., 2003). El grado de esterificación de las pectinas influye en sus propiedades funcionales, destacando su alta capacidad de retención de agua, viscosidad, gelificación y estabilización de emulsiones (Lundberg, 2005; Willats et al., 2006). Por otro lado, la celulosa es un polisacárido insoluble que presenta una estructura ramificada y amorfa, la cual contribuye al aumento de la viscosidad (Valdés, 2006). Además, la hemicelulosa también contribuye de forma significativa a la fracción soluble de la fibra de los cítricos (10,06%) (Lundberg et al., 2014). Por tanto, las propiedades de la fibra cítrica van a depender, en parte, de la interacción entre la pectina y la red de celulosa/hemicelulosa (Huang et al., 2021).

Entre sus propiedades tecnológicas, la fibra cítrica se caracteriza por tener una alta capacidad de retención de agua y aceite, viscosidad aparente (Lundberg, 2005; Zhang et al., 2020; Huang et al., 2021), propiedades por las cuales se puede emplear para estabilizar emulsiones, formar geles y mejorar la vida útil de los alimentos (Fernández-López et al., 2004; Rafiq et al., 2018; Qi et al., 2021). En comparación con las fibras de otras fuentes, como la procedente de los cereales, la fibra cítrica destaca por tener una proporción de fibra dietética soluble significativamente mayor y, por tanto, por su mayor capacidad de retención de agua (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999; Gómez et al., 2003; Lundberg, 2005; Marín et al., 2007).

Estas propiedades hacen que la fibra cítrica tenga una amplia gama de aplicaciones en productos cárnicos, donde han sido especialmente estudiadas (Fernández-López et al., 2004), lácteos, salsas y productos horneados (Miller, 2011; Mironeasa y Codinã, 2013; Spina et al., 2019), permitiendo modificar las propiedades reológicas, físicas y sensoriales de los alimentos (Collar et al., 2009). Además, debido a su neutralidad en color, sabor y olor, la hace apta para aplicaciones en las que otras fibras no podrían ser viables (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999; Garau et al., 2007). Más allá de sus propiedades tecnológicas, la fibra cítrica ha recibido cada vez más atención de los investigadores y la industria por su valor nutricional, ya que tiene una proporción bien equilibrada de fracción soluble e insoluble (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999; Gorinstein et al., 2001). Estudios han demostrado que la fibra juega un papel importante en la prevención y reducción de enfermedades crónicas como trastornos gastrointestinales, obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, hipercolesterolemia y cáncer (Fernández-López et al., 2004; Figuerola et al., 2005; Nomura et al., 2007). Además, las fibras cítricas tienen una ventaja adicional debido a la presencia de compuestos bioactivos asociados como los flavonoides, polifenoles, vitamina C y otros con propiedades antioxidantes (Schieber et al., 2001).

Una estrategia efectiva para impulsar el consumo de estos componentes funcionales y fomentar la economía circular en la industria alimentaria consiste en su incorporación en alimentos altamente apreciados por los consumidores, como es el caso de los bizcochos. Los bizcochos son uno de los productos de panadería más populares, valorados por sus características sensoriales (Jeddou et al., 2017). Existen dos tipos de formulaciones de bizcochos básicos, los basados en aceite, *layer*, y los basados en una espuma estabilizada por la ovoproteína, *sponge* (Wilderjans et al., 2013). La principal diferencia es que los primeros son mucho más jugosos mientras que los segundos se suelen usar para rellenar (Gómez et al., 2012). Diversos estudios han explorado los efectos de una amplia variedad de fibras en la calidad de los bizcochos (Jeddou et al.,

2007; Gómez et al., 2010; Gularte et al., 2012; Aydogdu et al., 2018; Jahanbakhshi y Ansari, 2020). A pesar de ello, la investigación sobre los efectos de la fibra cítrica se ha centrado más en panes (Gómez et al., 2003; Miller, 2011; Mironeasa y Codină, 2013; Chang et al., 2015; Spina et al., 2019; Korus et al., 2020; Bugarín y Gómez, 2023) que en bizcochos (Aydogdu et al., 2018). En lo que respecta a los bizcochos, Aydogdu et al. (2018) encontraron que la fibra de limón limitó la pérdida de humedad en bizcochos tipo *layer*, lo que sugiere un aumento de su vida útil. No obstante, afectó negativamente a otras propiedades del bizcocho. Al sustituir la harina de trigo un 5 y 10% por fibra de limón resultó en una notable reducción del volumen, un aumento de la firmeza de la miga y diferencias en el color (Aydogdu et al., 2018). Hasta el momento, no se han estudiado los efectos de la fibra cítrica en los batidos y bizcochos tipo *sponge* ni con menores porcentajes de sustitución en los *layer*. Además, en la literatura científica no hay ningún estudio que haya explorado los efectos de la fibra cítrica en la vida útil ni se ha realizado una evaluación sensorial con consumidores en ninguno de los dos tipos de bizcochos.

En base a lo anterior, el objetivo principal de este estudio es evaluar cómo la fibra cítrica influye en las propiedades del batido y en las propiedades físicas y sensoriales de dos tipos de bizcocho, *layer* y *sponge*. Para ello, se sustituyó un 0, 1, 2, 4 y 6% de la harina de trigo por fibra cítrica y se evaluó sus efectos en: 1) la capacidad de absorción de agua de la harina y en su viscosidad en un ciclo de calentamiento y enfriamiento; 2) las propiedades del batido antes del horneado, concretamente en la densidad, viscosidad y microestructura; 3) las propiedades físicas del bizcocho final, concretamente en la pérdida de peso, volumen, textura y color; 4) la vida útil de los bizcochos a los siete días de su elaboración, concretamente en la dureza y el aspecto visual del bizcocho y del alveolado de la miga; 5) la aceptabilidad de los bizcochos con fibra cítrica frente al control. Teniendo en cuenta que la fibra cítrica contiene una fracción elevada de fibra soluble y, por tanto, presenta una alta capacidad de retención de agua, se espera que su incorporación en las formulaciones mejorará la retención de agua en el bizcocho final. Esto aportará jugosidad, disminuirá su dureza y alargará su vida útil, permitiendo así el reaprovechamiento de un subproducto con alto valor añadido dentro de la propia industria alimentaria.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Para la elaboración de los dos tipos de bizcocho de este estudio se empleó harina de trigo (10,8% humedad, 8,98% proteína) (Harinera Castellana, S.A, Valladolid,

España), azúcar blanco (Acor, Valladolid, España), huevo entero líquido pasteurizado Ovopak (Álvarez Camacho, S.L, Sevilla, España), leche líquida entera Únicla (Feiraco Lácteos, S.L, Ames, La Coruña, España), aceite refinado de girasol Langosta (Faiges, S.A., Daimiel, España), impulsor 25 x 1Kg (Puratos, Gerona, España), agua potable (red local), leche desnatada en polvo (Nestlé Sveltesse, Barcelona, España) y emulgente Super Jilk (Puratos, Gerona, España). La fibra cítrica (FC) (Vitacel CF 312) fue proporcionada por la empresa Rettenmaier Ibérica, S.L. (Barcelona, España).

2.2. Métodos

2.2.1. Elaboración de los bizcochos

Los bizcochos fueron elaborados siguiendo la formulación de Guerra-Oliveira et al. (2022) descrita en la **Tabla 1**, en base al peso de la harina. La harina de trigo se sustituyó por FC al 0% (control), 1% (FC 1%), 2% (FC 2%), 4% (FC 4%) y 6% (FC 6%). En total, se obtuvo cinco formulaciones para cada tipo de bizcocho (**Tabla 1**). Cada formulación se elaboró y midió por duplicado.

Tabla 1. Formulación (en g) de los bizcochos *layer* y *sponge* control y con los diferentes porcentajes de sustitución de la harina de trigo por fibra cítrica (FC).

Ingredientes (g)	<i>Layer</i>					<i>Sponge</i>				
	Control	FC 1%	FC 2%	FC 4%	FC 6%	Control	FC 1%	FC 2%	FC 4%	FC 6%
Harina de trigo	350	346,5	343	336	329	245	242,6	240,1	235,2	230,3
FC	-	3,5	7	14	21	-	2,5	4,9	9,8	14,7
Azúcar blanco	315	315	315	315	315	240,5	240,5	240,5	240,5	240,5
Huevo líquido	175	175	175	175	175	344	344	344	344	344
Agua	-	-	-	-	-	55	55	55	55	55
Leche en polvo	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25
Emulgente	-	-	-	-	-	14	14	14	14	14
Leche líquida	210	210	210	210	210	-	-	-	-	-
Aceite de girasol	105	105	105	105	105	-	-	-	-	-
Impulsor	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	-	-	-	-	-

En el caso de los bizcochos *layer*, se mezclaron todos los ingredientes en una batidora KitchenAid Professional (Kitchen Aid, St. Joseph, MI, USA) a velocidad 4 (135 rpm) durante 1 min y, posteriormente, a velocidad 6 (180 rpm) durante 9 min parando cada minuto para raspar el batido de las paredes. El batido se repartió en 5 moldes de aluminio (109 x 159 x 38 mm) (185 g de batido en cada molde), previamente engrasados con aceite refinado de girasol.

En el caso de los bizcochos *sponge*, se utilizó un procedimiento de cremado-mezclado. Primero se mezcló el azúcar, huevo, agua y emulgente a velocidad 6 (180

rpm) durante 2 min. Posteriormente, se añadió al batido la harina de trigo, la FC y la leche en polvo y se mezclaron todos los ingredientes a velocidad 8 (225 ppm) durante 3 min. El batido se repartió en 7 moldes de aluminio (109 x 159 x 38 mm) (100 g de batido en cada molde), previamente engrasados con aceite refinado de girasol.

Ambos tipos de bizcochos, *layer* y *sponge*, fueron horneados a 190°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) durante 25 min en un horno eléctrico previamente calentado (Salva, Lezo, España). Tras el horneado, los bizcochos se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 60 min. Finalmente, los bizcochos se desmoldaron, se pesaron y se guardaron en bolsas codificadas de polietileno con cierre hermético en una cámara a 24 °C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) durante 24 h y 7 días para la medición de sus propiedades físicas.

2.2.2. Propiedades de la harina y de la mezcla harina-FC

Las propiedades de hidratación de la harina y de la mezcla de harina-FC se evaluaron mediante el método de *Water Binding Capacity* (WBC). WBC es la cantidad de agua retenida por la muestra al someterla a una centrifugación a baja velocidad. Para ello, se aplicó el método AACC 56-30.01 (AACC, 2012a) con pequeñas modificaciones ya que las muestras con FC absorbieron toda el agua después de la centrifugación. Se prepararon muestras de 1,5 g en tubos Falcon de 50 mL en los que se mezcló la harina de trigo con los diferentes porcentajes de sustitución de FC (0, 1, 2, 4 y 6 %) agregando 25 mL de agua destilada. Una vez preparadas, las muestras se pesaron, se homogeneizaron con el vórtex (MS2 Minishaker, IKA, Staufen, Alemania) y se centrifugaron a 4000 x g durante 15 min. Luego, el sobrenadante se desechó y se volvieron a pesar los tubos. La WBC fue calculada como la cantidad de agua retenida por gramo de materia seca de la muestra. Este análisis fue realizado por duplicado.

Por otro lado, el perfil de viscosidad de las muestras se analizó utilizando un Rapid Visco Analyzer (RVA-4) (modelo RVA-4C, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia). Se prepararon muestras de 3,5 g en los canister de aluminio de RVA, mezclando la harina de trigo con los diferentes porcentajes de sustitución de FC (0, 1, 2, 4 y 6 %) con 25 mL de agua destilada. Las muestras se sometieron a ciclos de calentamiento, mantenimiento de la temperatura y enfriamiento según el método estándar AACC 76-21.02 (AACC, 2012b). Este análisis fue realizado por duplicado.

2.2.3. Propiedades del batido

La densidad del batido se midió por duplicado en cada elaboración mediante un picnómetro Elcometer 1800 (Elcometer, Manchester, Reino Unido). El valor de la densidad se calculó como la relación entre el peso del batido (en g) dentro del picnómetro y la capacidad volumétrica del picnómetro (100 cm³).

La viscosidad del batido se midió por duplicado en cada elaboración usando un Rapid Visco Analyzer (RVA-4) (modelo RVA-4C, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia). Se colocaron 25 g del batido del bizcocho tipo *layer* y 15 g del batido del *sponge* en un canister del RVA, luego se realizó un análisis de viscosidad según el método descrito por Sahagún et al. (2018). Este método consiste en someter a las muestras a una temperatura constante de 30°C a 160 rpm durante 4 min. La viscosidad obtenida a los 2 min se consideró como la viscosidad del batido a 30°C.

La microestructura del batido se observó con un microscopio DM750 (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemania), con un aumento de x20, equipado con una cámara de video EC3 (para imágenes a temperatura ambiente) y Linkam (para imágenes en rampas de temperatura). Las imágenes a temperatura ambiente y en las rampas de temperatura fueron capturadas gracias al software LAS-EZ V1.7.0 (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany) y Link (Linkam Scientific Instruments Ltd, Waterfield, United Kingdom), respectivamente. Para ello, se colocó una gota del batido en el portaobjetos, se cubrió con un cubreobjetos y se comprimió bajo un peso de 1 kg para crear una capa de espesor uniforme. El proceso de calentamiento del batido durante el horneado se simuló mediante tres rampas de temperatura según el método descrito por Sahagún et al. (2018): primera rampa inicial de calentamiento a la temperatura de partida de 30°C (5°C/min), esta temperatura se mantuvo durante 3 min; segunda rampa hasta 85°C (15°C/min); y tercera rampa hasta 100°C (2,5°C/min), esta temperatura se mantuvo durante 10 min.

2.2.4. Propiedades físicas del bizcocho

Las propiedades de los dos tipos de bizcocho se midieron 24 h después del horneado, excepto la pérdida de peso que se midió 1 h después del horneado. La dureza, el aspecto visual del bizcocho y el alveolado de la miga se volvieron a medir después de 7 días de su almacenamiento.

Pérdida de peso

La pérdida de peso (%) durante el horneado se calculó como la diferencia entre el peso del batido antes de ser horneado (185 g en *layer* y 100 g en *sponge*) y el peso del bizcocho 1 h después del horneado, tras haber alcanzado la temperatura ambiente. Este parámetro se midió en los 5 bizcochos tipo *layer* y en los 7 bizcochos tipo *sponge* de cada repetición.

Volumen específico

El volumen final (mL) de los bizcochos fue medido con un analizador de volumen Volscan Profiler (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido). El volumen específico (mL/g) de los bizcochos se calculó como la relación entre el volumen del bizcocho y el peso del bizcocho medido a las 24 h tras el horneado. Este parámetro se midió en los 5 bizcochos tipo *layer* y en los 7 bizcochos tipo *sponge* obtenidos de cada repetición.

Textura

La textura de la miga se midió mediante un analizador de textura TA-XT2 (Stable Microsystems, Surrey, UK) provisto con el software *Texture Expert*. Se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio de 25 mm de diámetro, mayor que la muestra, en un ensayo de doble compresión de Análisis de Perfil de Textura (TPA) para comprimir el 50% de la muestra, a una velocidad de 2 mm/s y con un retardo de 30 s entre la primera y segunda compresión. La dureza (N), elasticidad, cohesividad y resiliencia fueron los parámetros texturales obtenidos a partir del gráfico TPA (Gómez et al., 2007). Las mediciones se realizaron con muestras de 30 mm de espesor y 20 mm de diámetro obtenidas del centro de las dos rebanadas contiguas a la central. Este parámetro se midió en 3 bizcochos tipo *layer* y 5 bizcochos tipo *sponge* de cada repetición.

Tras los siete días del horneado de los bizcochos, se volvió a medir la dureza y se calculó el incremento porcentual de la dureza como la diferencia entre los resultados del día siete y a las 24 h del horneado.

Color de la corteza y miga

El color se midió mediante un colorímetro PCE-CSM 2 (PCE Instruments, Meschede, Alemania) con el iluminante D65 y observador estándar de 2°. Se obtuvieron los valores de L* (luminosidad), a* (croma del espectro verde-rojo) y b* (croma del espectro azul-amarillo) expresados en el espacio de color L*a*b* y se calcularon los valores de ΔE (diferencia de color). La diferencia de color se obtuvo a partir de las diferencias de L*, a* y b* entre el control y las muestras con incorporación de FC. El color de la corteza se midió en tres puntos diferentes de la superficie superior (extremos y centro) de los 5 bizcochos tipo *layer* y de los 7 bizcochos tipo *sponge* de cada repetición. El color de la miga se midió en el punto central de la rebanada central de 3 bizcochos tipo *layer* y 5 bizcochos tipo *sponge* de cada repetición.

Aspecto visual del bizcocho y alveolado de la miga

Para la evaluación del aspecto visual se fotografiaron 2 bizcochos tipo *layer* y tipo *sponge* de cada repetición 24 h y 7 días después del horneado. Las fotografías fueron tomadas desde la misma altura y sobre un fondo negro con una cinta métrica (en cm).

Se evaluó tanto la superficie externa de los bizcochos como una de las rebanadas centrales para observar el alveolado de la miga. Además, el alveolado de la miga de los bizcochos se evaluó mediante imágenes digitales tomadas con un escáner HP Scanjet G3110 (HP, Palo Alto, 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. Se escaneó la rebanada central de 3 bizcochos tipo *layer* y 5 bizcochos tipo *sponge* de cada repetición. Las imágenes del alveolado de la miga fueron tomadas 24 h y 7 días después del horneado.

2.2.5. Análisis sensorial

La evaluación de la aceptabilidad de los bizcochos elaborados fue realizada con 84 voluntarios para los bizcochos tipo *layer* y con 85 voluntarios para los bizcochos tipo *sponge*, con edades de entre 18 y 65 años, reclutados en el Campus de La Yutera (Palencia). Para ello, se utilizó una escala hedónica de nueve puntos, que iba desde “me disgusta muchísimo” (1 punto) hasta “me gusta muchísimo” (9 puntos). Los atributos que se midieron fueron el aspecto visual, el olor, la textura, el sabor y la valoración global de los bizcochos. Los consumidores realizaron la prueba en cabinas individuales, con luz natural, ausencia de ruido externo y con una temperatura entre 20 y 24 °C. Los bizcochos presentados fueron elaborados 24 h antes de su evaluación sensorial: control, FC 2% y FC 4% del tipo *layer* y control, FC 4% y FC 6% del tipo *sponge*. Se eligieron los bizcochos con los mayores porcentajes de sustitución de fibra excepto el FC 6% del bizcocho *layer* debido a su clara pérdida de la calidad. Las muestras se presentaron en rebanadas de 30 mm de espesor, sobre platos de papel blanco codificados con números aleatorios de cuatro dígitos y se sirvieron en un orden aleatorio. Para la evaluación del aspecto visual, se mostró un bizcocho completo de cada muestra. El análisis sensorial fue aprobado por el comité de Ética de la investigación del área de salud de Palencia (registro nº 2019/026).

2.2.6. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa Statgraphics Centurion XVII (StatPoint Technologies, Warrenton, VA, EE. UU.). Los resultados fueron evaluados mediante el análisis de varianza (*One-Way Analysis of Variance*, ANOVA). Las diferencias entre las medias de las propiedades del batido y de los bizcochos fueron estudiadas mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (LSD) de Fisher con un nivel de significación del 95% ($p < 0,05$).

3. Resultados y discusión

3.1. Propiedades de la harina y de la mezcla harina-FC

Como se observa en la **Tabla 2**, la incorporación de FC aumentó significativamente los valores de WBC de la mezcla de harina-FC, concretamente los porcentajes de sustitución de FC 4% y FC 6% con respecto al control. Esto se debe a que la capacidad de absorción de agua de la FC es mayor que la de la harina de trigo. Este resultado coincide con el encontrado por Miller (2011) y por Mironeasa y Codinã (2013), quienes descubrieron que a partir de un porcentaje de sustitución de un 2,5% y un 2% de la harina de trigo por FC, respectivamente, se lograba una capacidad de retención de agua significativamente mayor a la de la harina de trigo.

Tabla 2. Capacidad de retención de agua (WBC) de la harina de trigo (control) y de la mezcla de harina con los diferentes porcentajes de sustitución de fibra cítrica (FC).

Muestra	WBC (g agua/ g sólido)
Control	0,86 ± 0,03 a
FC 1%	0,95 ± 0,01 a
FC 2%	0,89 ± 0,09 a
FC 4%	1,21 ± 0,06 b
FC 6%	1,44 ± 0,12 c

Los resultados están presentados como las medias ± desviación estándar de 2 repeticiones. Los valores con distinta letra presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

La FC destaca por sus niveles elevados de fibra soluble, pectina y hemicelulosa, superiores a los presentes en la harina de trigo e incluso en otras fibras, lo que hace que tenga un carácter más hidrofílico y, por tanto, valores más altos de WBC (Weber et al., 1993; Gómez et al., 2003; Marín et al., 2007; Miller, 2011; Lundberg et al., 2014; Mironeasa y Codinã, 2016; Aydogdu et al., 2018). La mayor WBC se debe al aumento de los grupos hidroxilos libres existentes en la estructura de la FC, que son los responsables de interaccionar con el agua a través de enlaces de hidrógeno (Wang et al., 2002; Gómez et al., 2003). Además, los gránulos de almidón, principal componente de la harina de trigo, se encuentran en estado semicristalino nativo, y, por tanto, insoluble, solamente absorbiendo agua a través del almidón dañado o si se produce un aumento de la temperatura (gelatinización).

Las curvas obtenidas del RVA muestran que la harina de trigo (control) tiene valores de viscosidad más bajos a lo largo de la curva y alcanza la viscosidad máxima antes que las mezclas con FC (**Figura 1**). Una posible explicación es que la FC podría haber competido con el almidón y las proteínas del trigo por el agua presente en la mezcla, ya que contiene una gran cantidad de grupos hidrófilos en su estructura (Alba et al., 2020). Esta competencia, puede afectar a la disponibilidad de agua para el proceso de gelatinización del almidón y aumentar el tiempo necesario para que el almidón gelatinice

(Alba et al., 2020). La incorporación de FC aumentó la viscosidad de pico y la viscosidad a partir de ese punto hasta el final del ensayo (**Figura 1**). Bugarín y Gómez (2023) ya observaron este comportamiento de la FC en mezclas con harina de arroz y almidones. Como en el caso de la WBC, el aumento de la viscosidad se debe a la presencia de pectina y hemicelulosa, fibras solubles con alta capacidad espesante, como ya demostró Ma et al. (2019). Por otro lado, la celulosa y otros componentes insolubles de la FC ayudan a estabilizar la viscosidad mientras aumenta la temperatura ya que son menos sensibles al calor (Lundberg et al., 2014).

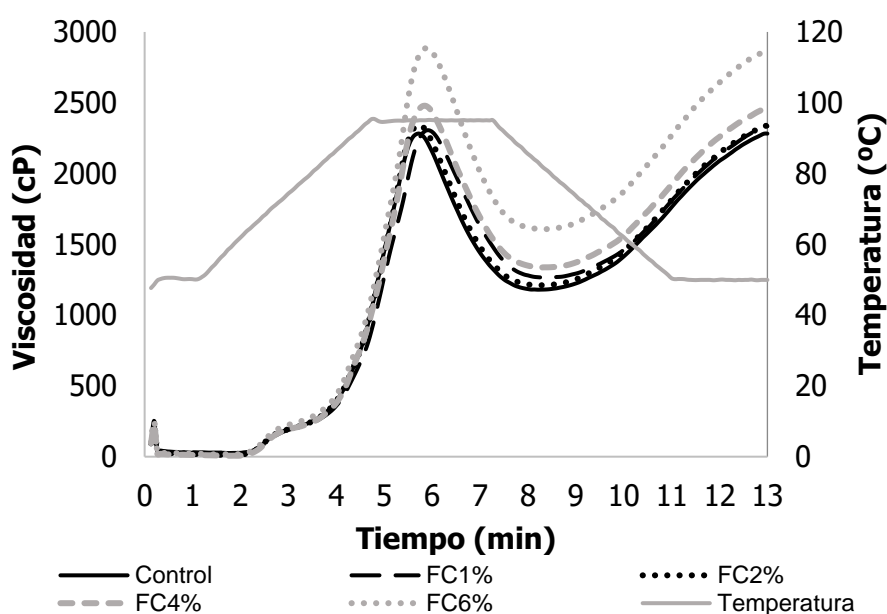


Figura 1. Perfil de viscosidad de las mezclas de harina y fibra cítrica (FC) al 0% (control), 1%, 2%, 4% y 6% en un ciclo de calentamiento, mantenimiento de la temperatura y enfriamiento.

3.2. Propiedades del batido

Las propiedades del batido cambiaron en respuesta a la incorporación de FC, aunque las diferencias solo fueron significativas para los bizcochos tipo *layer* (**Tabla 3**). En particular, se encontró que la densidad del batido aumentó significativamente en los bizcochos *layer* FC 1%, FC 4% y FC 6% en comparación con el control. Este comportamiento ya ha sido documentado en bizcochos por otros estudios que incorporaron diferentes tipos de fibras (Lebesi y Tzi, 2011; Majzoobi et al., 2014) e hidrocoloides (Gómez et al., 2007). La FC podría ser la responsable del aumento de la densidad del batido. El aumento de la densidad del batido suele ir acompañado de una disminución en el volumen de aire incorporado en la mezcla del batido, lo que a su vez podría afectar al volumen final del bizcocho (Gómez et al., 2007).

Aunque en este estudio no se detectaron diferencias significativas en la densidad del batido de los bizcochos tipo *sponge*, estudios como el de Qasem et al. (2017) hallaron

que la densidad del batido de los bizcochos tipo *sponge* aumentó significativamente a partir de un porcentaje de sustitución de un 2% de la harina de trigo por extracto de okra en polvo, rico en fibra soluble. Esta discrepancia podría deberse a la diferente formulación de los bizcochos y al contenido y tipo de fibra.

Tabla 3. Propiedades de los batidos de los bizcochos *layer* y *sponge* elaborados con diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC).

Muestra	Densidad (g/mL)	Viscosidad 30°C (cP)
Layer		
Control	1,036 ± 0,004 a	3738 ± 399 a
FC 1%	1,052 ± 0,009 b	4905 ± 711 ab
FC 2%	1,048 ± 0,001 ab	5869 ± 622 b
FC 4%	1,067 ± 0,002 c	10068 ± 747 c
FC 6%	1,096 ± 0,004 d	15011 ± 1177 d
Sponge		
Control	0,345 ± 0,037 a	3671 ± 426 a
FC 1%	0,349 ± 0,012 a	3714 ± 573 a
FC 2%	0,357 ± 0,001 a	4060 ± 953 a
FC 4%	0,366 ± 0,011 a	5085 ± 1426 a
FC 6%	0,373 ± 0,004 a	3888 ± 1189 a

Los resultados están presentados como las medias ± desviación estándar de 2 repeticiones. Los valores con distinta letra en el mismo parámetro y en el mismo tipo de bizcocho presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

La viscosidad fue significativamente mayor solo para los bizcochos *layer* FC 2%, FC 4% y FC 6%, respecto al control (**Tabla 3**), lo cual podría estar relacionado con la mayor densidad observada en estos batidos. En este sentido, estudios previos como el de Zabik et al. (1977), Gularte et al. (2012), Sodchit et al. (2013) y Majzoobi et al. (2016) han encontrado esta tendencia en bizcochos al añadir diferentes fibras. Tiene sentido encontrar un aumento en la viscosidad del batido paralelamente al aumento del porcentaje de sustitución de FC ya que la WBC y la viscosidad de la mezcla de harina-FC fue mayor que la de la harina de trigo. Según Majzoobi et al. (2016), las fibras pueden formar enlaces de hidrógeno con el agua y reducir la cantidad de agua libre y la movilidad del sistema, lo que conduce a una mayor viscosidad. El aumento en la viscosidad del batido del bizcocho se ha relacionado con una menor capacidad para retener el aire durante el horneado, lo que también podría disminuir el volumen final del bizcocho (Gómez et al., 2012; Gularte et al., 2012).

Respecto a la microestructura del batido, no se observó una tendencia clara ya que el batido de los bizcochos *layer* FC 2% y FC 4% presentó un mayor tamaño y una distribución menos uniforme de las burbujas mientras que en FC 6% parece que las burbujas volvieron a ser de menor tamaño y con una distribución más uniforme, similar al control y al FC 1% (**Figura 2**). En el caso de los batidos de los bizcochos *sponge*, no se observó diferencias a simple vista. Esto puede ser debido a que, no se encontraron

efectos significativos en las propiedades del batido de los *sponge*. En ambos bizcochos, las diferencias en la cantidad de aire incorporado en los bizcochos tampoco fueron claramente discernibles a simple vista. No obstante, al igual que en otros estudios, como p.ej., en el de Gómez et al. (2011, 2012), se observó que la microestructura de los bizcochos *sponge* está conformada por una gran cantidad de burbujas de aire de pequeño tamaño y con una distribución más uniforme en comparación con los *layer* (Figura 2).

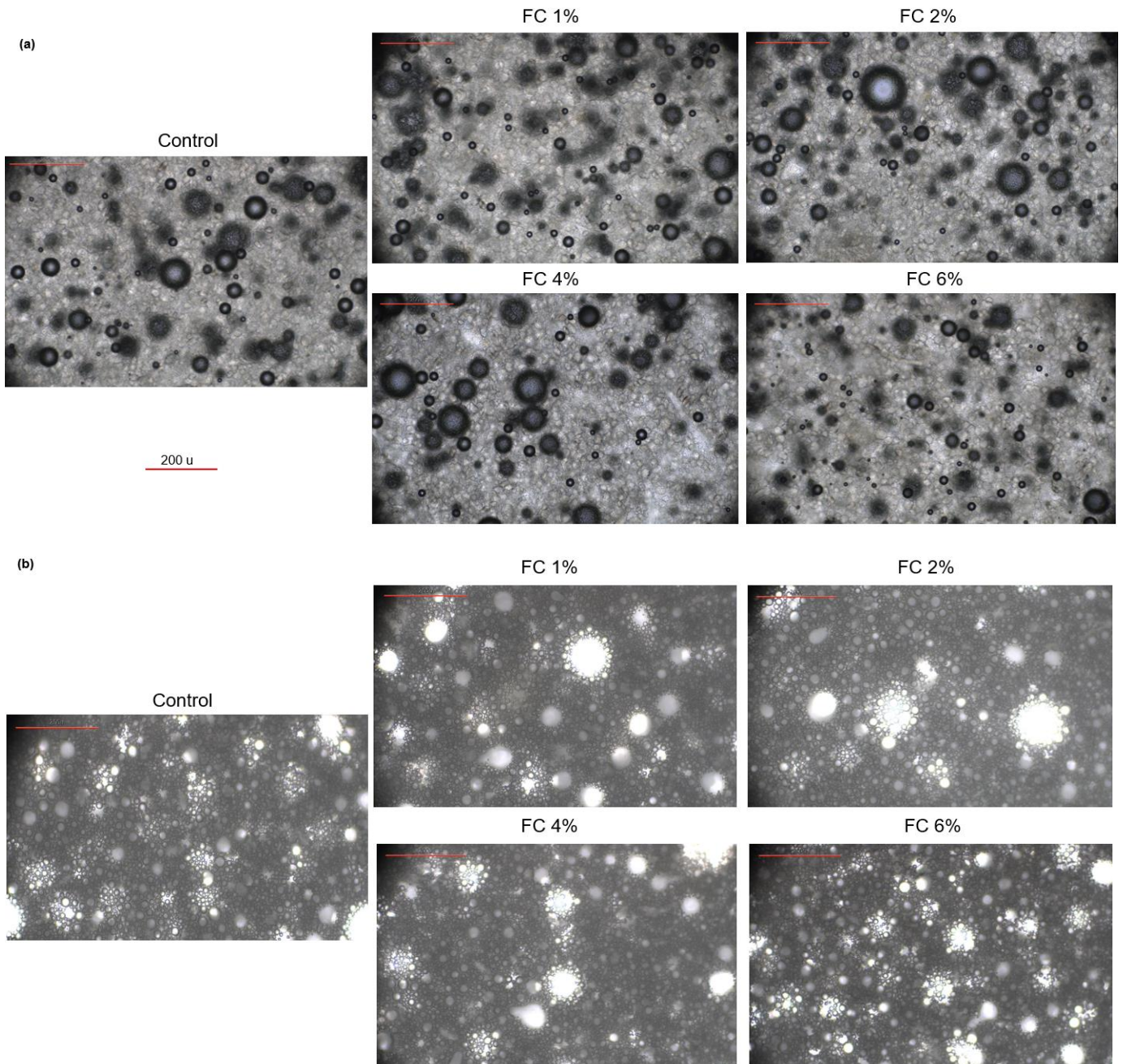


Figura 2. Microestructura (x20 aumentos de magnificación) del batido de bizcochos *layer* (a) y *sponge* (b) control y con los diferentes porcentajes de sustitución de harina de trigo por fibra cítrica (FC) (FC 1%, FC 2%, FC 4% y FC 6%) a 30°C. La barra de escala de color rojo en cada imagen indica un tamaño de 200 μm.

Las partículas de harina, especialmente el almidón, pueden ayudar a estabilizar las burbujas de aire en el batido a través del mecanismo conocido como emulsión *Pickering* (Pickering, 1907). En los bizcochos *layer*, la función de la harina es diferente a la de los bizcochos *sponge*. Las harinas ayudan a estabilizar la emulsión al aumentar la viscosidad del medio que rodea a las partículas dispersas (Wilderjans et al., 2008). Es posible que la FC, al aumentar la viscosidad del medio, desempeñe una función similar en los bizcochos tipo *layer*.

En el resto de las fotografías del batido obtenidas durante la simulación del horneado, en ambos bizcochos se observó la expansión de las burbujas de aire atrapadas en el batido debido al aumento de la temperatura y, en el caso del bizcocho *layer*, al impulsor (**Anexo 1 y 2**). Además, se observó la coalescencia de las burbujas de aire, aunque no se distinguen diferencias entre los diferentes batidos. A pesar de las propiedades emulsionantes de la FC en mezclas de aceite y agua (Qi et al., 2021), en panes sin gluten, donde las burbujas de aire también están rodeadas por la masa batida, se ha reportado que la FC rompe la estructura alveolar, favoreciendo la coalescencia de las burbujas y la pérdida de gas (Korus et al., 2020; Bugarín y Gómez, 2023).

3.3. Propiedades físicas del bizcocho

3.3.1. Pérdida de peso y volumen específico

La pérdida de peso está directamente relacionada con la pérdida de agua durante el horneado y el almacenamiento (Aydogdu et al., 2018). Por ello, cabría esperar que los bizcochos con FC perdieran menos peso dada la alta capacidad de retención de agua de la FC. No obstante, aunque los resultados revelaron diferencias significativas en la WBC de FC 4% y FC 6% con respecto al control, no se observó diferencias significativas en la pérdida de peso en ninguno de los dos tipos de bizcocho (**Tabla 4**). Aydogdu et al. (2018) informaron que los bizcochos en los que se sustituyó un 10% de la harina de trigo por fibra de limón perdió significativamente menos peso que el control debido a la alta capacidad de retención de agua de la fibra de limón. En este mismo estudio, también probaron a sustituir un porcentaje menor, un 5%, pero la disminución en la pérdida de peso no fue significativa. Por tanto, en nuestro estudio, podría deberse a que la cantidad de FC empleada en los bizcochos fue insuficiente como para generar un efecto notable en la pérdida de peso.

Por otro lado, se ha observado una disminución significativa en el volumen específico del bizcocho tipo *layer* FC 6% en comparación con el control (**Tabla 4**). Estos resultados concuerdan con los encontrados por numerosos autores que han informado una reducción del volumen específico al agregar diversas fibras (Gómez et al., 2003; Sudha

et al., 2007; Aydogdu et al., 2018) y, más concretamente, fibras cítricas (Gómez et al., 2003; Miller, 2011; Chang et al., 2015; Fu et al., 2015; Aydogdu et al., 2018; Korus et al., 2020; Bugarín y Gómez, 2023) en productos horneados. En el caso de los bizcochos *sponge* no se ve una tendencia clara ya que FC 4% y FC 6% tienen un menor volumen específico en comparación con el FC 1%, pero no respecto al control. Poonnakasem et al. (2015) encontraron una clara disminución del volumen específico de bizcochos *sponge* al sustituir un 0,5% de la harina de trigo por goma xantana (un hidrocoloide con alta capacidad de absorción de agua). Esto puede ser debido a que en su estudio encontraron un aumento significativo en la densidad y viscosidad del batido.

Tabla 4. Pérdida de peso 1 h después del horneado y volumen específico de los bizcochos *layer* y *sponge* elaborados con diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC).

Muestra	Pérdida de peso (%)	Volumen específico (mL/g)
Layer		
Control	9,04 ± 0,21 a	2,69 ± 0,03 b
FC 1%	7,81 ± 0,35 a	2,48 ± 0,15 ab
FC 2%	9,05 ± 0,57 a	2,60 ± 0,11 ab
FC 4%	8,65 ± 1,11 a	2,51 ± 0,19 ab
FC 6%	8,02 ± 0,21 a	2,35 ± 0,01 a
Sponge		
Control	18,36 ± 0,72 a	4,14 ± 0,01 ab
FC 1%	17,38 ± 1,45 a	4,35 ± 0,13 b
FC 2%	17,16 ± 0,53 a	4,24 ± 0,18 ab
FC 4%	16,63 ± 0,40 a	4,07 ± 0,04 a
FC 6%	17,13 ± 0,47 a	4,01 ± 0,06 a

Los resultados están presentados como las medias ± desviación estándar de 2 repeticiones. Los valores con distinta letra en el mismo parámetro y en el mismo tipo de bizcocho presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

El bajo volumen específico de los bizcochos con FC podría atribuirse al volumen de aire incorporado en el batido durante el mezclado y al volumen de aire retenido y expandido durante el horneado (Stauffer, 1990; Lebesi y Tzia, 2011; Aydogdu et al., 2018). Como ya se ha mencionado, el volumen de aire incorporado está influenciado por la densidad del batido mientras que el volumen de aire retenido por la viscosidad y microestructura del batido (Gómez et al., 2012; Gularte et al., 2012). Se ha demostrado que existe un grado óptimo de consistencia del batido para que los bizcochos puedan adquirir grandes volúmenes. Los batidos con una consistencia demasiado baja o alta tienden a generar volúmenes específicos bajos. Cuando la consistencia es demasiado baja, aumenta la coalescencia y la movilidad de las burbujas, lo que hace que escapen del batido mientras que cuando es demasiado alta se produce una lenta expansión del batido durante el horneado (Lee et al., 2005; Lakshminarayan et al., 2006; Gularte et al., 2012). De hecho, el batido del bizcocho que presentó el volumen específico más bajo, *layer* FC 6%, mostró una consistencia tan excesiva que dificultaba su reparto en los

moldes. Por tanto, es posible que la disminución del volumen específico sea causada por una densidad y viscosidad del batido excesiva.

En cuanto a la microestructura del batido, se sabe que las burbujas de gran tamaño y con distribución irregular están relacionadas con una menor estabilidad, especialmente durante las primeras etapas del horneado cuando la viscosidad del batido disminuye (Stauffer, 1990), lo que facilita los fenómenos de coalescencia y la pérdida de aire por el movimiento de las burbujas hacia la superficie del bizcocho, lo que resulta en un volumen específico bajo (Gómez et al., 2011). No obstante, como ya se mencionó, en las fotografías tomadas de la microestructura del batido no se encontró una tendencia clara con la incorporación de FC en ninguno de los dos tipos de bizcochos (**Figura 2, Anexo 1 y 2**).

También, el volumen específico depende de la naturaleza y de la cantidad de fibra añadida (Aydogdu et al., 2018). Las fibras pueden interferir en la formación de la red de gluten y diluir las proteínas funcionales del gluten, desorganizando la matriz almidón-gluten (Aydogdu et al., 2018) y provocando una disminución de la capacidad de retención de gases (de la Hera et al., 2012). Aunque en los bizcochos la formación de gluten es mínima, también puede influir en la estructura final al evitar el colapso después del horneado (Wilderjans et al., 2008; Ronda et al., 2009; Oliete et al., 2010).

Por otro lado, Korus et al. (2020) encontraron que el volumen del pan sin gluten, al que incorporaron FC, se correlacionaba fuerte y negativamente con la porosidad y el tamaño medio del poro. En el presente estudio, el grupo control de ambos bizcochos presentó una porosidad cerrada y regular en comparación con los bizcochos con FC (**Figura 3**). Conforme aumentaba el porcentaje de sustitución de FC, la porosidad era cada vez más abierta e irregular, efecto que también está relacionado con la retención del aire durante el horneado. Este efecto se puede observar claramente en el FC 4% y FC 6% del *layer*, en los que se observó poros alargados horizontal y verticalmente, posiblemente indicando fenómenos de coalescencia. Bugarín y Gómez (2023) también observaron este efecto al incorporar un 6% de FC en dos formulaciones de pan sin gluten. En el estudio de Jahanbakhshi y Ansari (2020), realizado con bizcochos tipo *sponge*, reportaron que a partir de un 15% de sustitución de la harina de trigo por polvo de hueso de aceituna rico en fibra ya se observó un notable aumento en el tamaño de los poros.

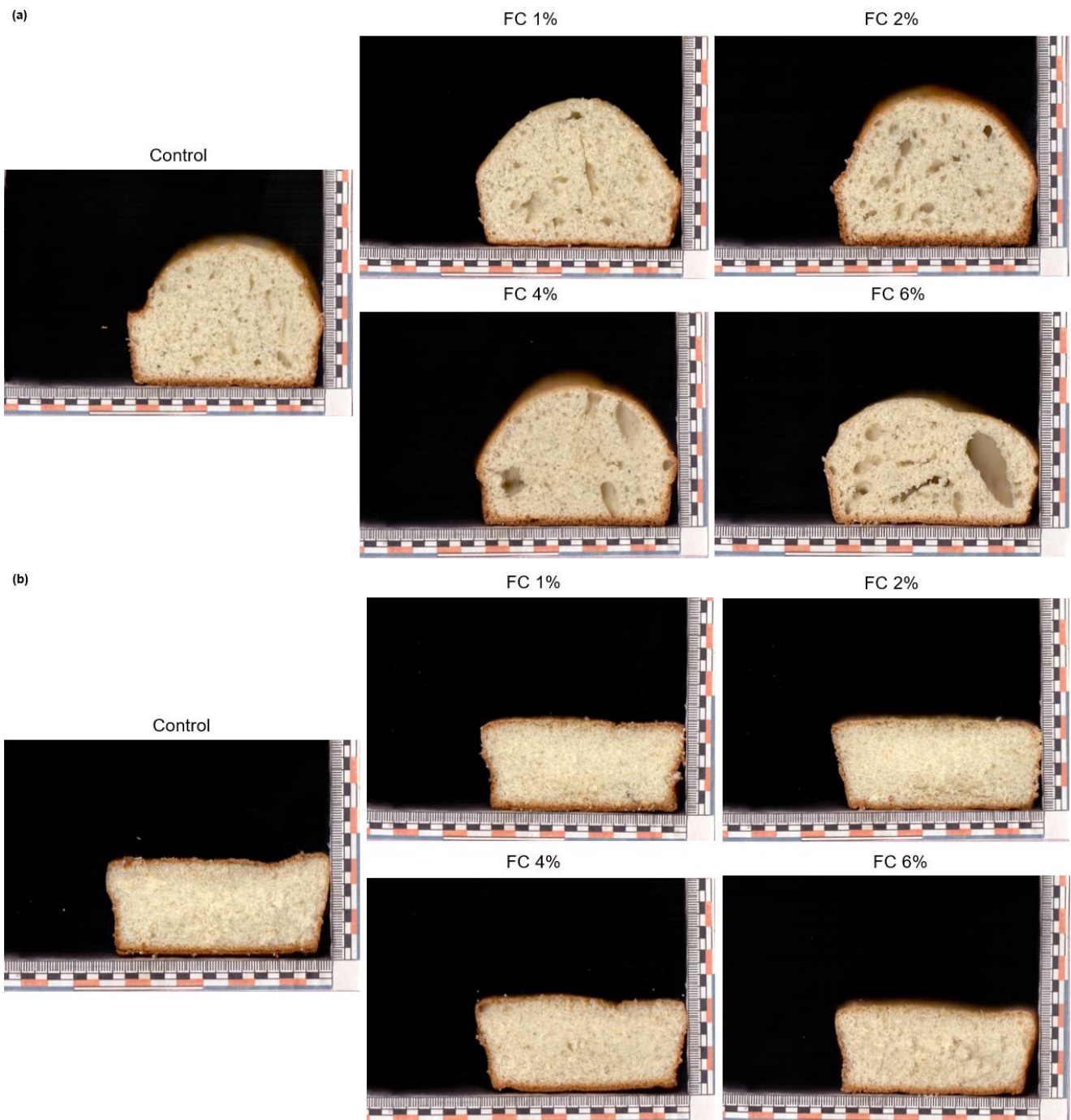


Figura 3. Rebanadas centrales de los bizcochos *layer* (a) y *sponge* (b) control y con los diferentes porcentajes de sustitución de fibra cítrica (FC) (FC 1%, FC 2%, FC 4% y FC 6%).

Estudios anteriores, como el realizado por Korus et al. (2020), sugirieron añadir más agua a la formulación, debido a la alta capacidad de retención de agua de la FC, y así corregir sus efectos negativos sobre el volumen específico. No obstante, la viscosidad del batido que rodea las burbujas podría disminuir, dejando de soportar el peso de la estructura y, con ello, produciéndose una caída del volumen específico (Bugarín y Gómez, 2023). En este estudio se probó a añadir dos cantidades de agua a la formulación *layer* FC 6%, pero empeoró notablemente su calidad ya que se produjo una

mayor caída del volumen específico con respecto al del *layer* FC 6% (resultados en **Anexo 3 y 4**). Por ello, los bizcochos obtenidos en esta prueba fueron descartados. Este efecto también fue reportado por Korus et al. (2020) y Bugarín y Gómez (2023), quienes, a pesar de añadir más agua a la formulación, obtuvieron un menor volumen específico en panes sin gluten con un 10% de sustitución de almidón (de maíz y patata) por FC y con una adición de 6% de FC, respectivamente, en comparación con el control.

3.3.2. Textura

La FC aumentó significativamente la dureza de la miga de los bizcochos tipo *layer* tras 24h de almacenamiento, aunque solo con el FC 4% y FC 6% (**Tabla 5**). Estos resultados concuerdan con lo esperado ya que, la dureza de la miga incrementa cuando el volumen específico del bizcocho se reduce (Gómez et al., 2010; Sabanis et al., 2009; Gómez et al., 2010; Lebesi y Tzia, 2011; Segundo et al., 2017; Aydogdu et al., 2018), como es en el caso de los bizcochos *layer* FC 6%. Por ejemplo, Aydogdu et al. (2018) encontraron que al sustituir un 5% de la harina de trigo por fibra de limón, los bizcochos presentaron un menor volumen específico y una mayor dureza. Una posible explicación podría estar relacionada con el volumen y distribución del aire retenido por el batido. Cuando el volumen de aire retenido es bajo y la distribución de las burbujas es irregular, los bizcochos adquieren una textura de miga más compacta y da lugar a bizcochos más densos, duros y con menor volumen específico (Gómez et al., 2010). Es importante tener en cuenta que cuando la fibra que se añade tiene una alta capacidad de retención de agua y efecto espesante (alta viscosidad del batido), como es el caso de la FC, compite con el almidón de la harina de trigo por el agua (Alba et al., 2020). Esto puede dificultar la absorción de agua durante el calentamiento y la correcta expansión del batido en el horneado, dando lugar a un hinchamiento o gelatinización del almidón incompleto o más tardío (menor expansión), tal como vemos en el ensayo RVA de las mezclas. Esta competencia por el agua puede debilitar el desarrollo de la estructura del bizcocho antes de su solidificación en el horno, causando así una estructura más rígida (Chang et al., 2015).

Además, se produjo una disminución significativa en la elasticidad del *layer* FC 6% en comparación con el control y en la cohesividad y resiliencia del *layer* a partir del FC 4% (**Tabla 5**), lo que sugiere una alteración de la estructura interna del bizcocho. Se obtuvo un resultado similar en otro estudio realizado con hidrocoloides en bizcochos tipo *layer* (Gómez et al., 2007) en el que incorporaron un 1% de alginato, carragenano, guar, HPMC (hidroxipropilmetilcelulosa) y xantana. Esto puede indicar que la FC dificulta la interacción intermolecular entre los ingredientes, lo que podría explicar por qué los

bizcochos con FC tendían a desmenuzarse con mayor facilidad que los bizcochos control. Sin embargo, esta tendencia no fue significativa en los bizcochos tipo *sponge*.

Por otro lado, en el caso de los bizcochos tipo *sponge*, a pesar del menor volumen específico de los bizcochos con mayores porcentajes de sustitución (FC 4% y FC 6%) con respecto al FC 1%, no se observaron diferencias significativas en los parámetros texturales (**Tabla 5**). Esto puede deberse a que la presencia de emulgente en estas formulaciones ayuda a estabilizar los batidos, disminuyendo el efecto negativo de la incorporación de FC. De hecho, en las propiedades del batido no se observaron diferencias significativas, lo que explica que no se encontraran diferencias en la textura de los bizcochos. Por tanto, en los bizcochos tipo *sponge*, se podría incorporar mayores porcentajes de FC para un mayor contenido en fibra y aprovechamiento de este subproducto.

Tabla 5. Propiedades texturales a las 24 horas de almacenamiento de los bizcochos *layer* y *sponge* elaborados con diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC). Los valores recogidos de dureza son a las 24 h, a los 7 días de almacenamiento y el incremento de esta.

Muestra	Dureza 24h (N)	Dureza día 7 (N)	Incremento dureza (%)	Elasticidad	Cohesividad	Resiliencia
Layer						
Control	1,38 ± 0,04 a	3,16 ± 0,36 a	128,16 ± 19,69 b	0,97 ± 0,01 b	0,70 ± 0,01 c	0,31 ± 0,01 b
FC 1%	1,93 ± 0,15 a	3,78 ± 0,10 a	96,03 ± 9,96 ab	0,95 ± 0,03 ab	0,69 ± 0,01 bc	0,30 ± 0,01 ab
FC 2%	2,03 ± 0,02 a	4,56 ± 0,27 b	124,90 ± 11,39 b	0,96 ± 0,02 ab	0,67 ± 0,01 ab	0,29 ± 0,004 ab
FC 4%	2,87 ± 0,43 b	5,79 ± 0,21 c	103,75 ± 23,17 ab	0,93 ± 0,01 ab	0,65 ± 0,01 a	0,28 ± 0,01 a
FC 6%	3,88 ± 0,40 c	6,63 ± 0,38 d	71,29 ± 7,69 a	0,92 ± 0,01 a	0,66 ± 0,01 a	0,29 ± 0,01 a
Sponge						
Control	1,41 ± 0,08 a	3,27 ± 0,30 ab	131,54 ± 8,79 a	0,97 ± 0,00 a	0,72 ± 0,01 a	0,29 ± 0,01 a
FC 1%	1,06 ± 0,22 a	2,66 ± 0,41 a	151,13 ± 13,62 a	1,16 ± 0,24 a	0,74 ± 0,02 a	0,30 ± 0,01 a
FC 2%	1,02 ± 0,07 a	2,66 ± 0,18 a	160,64 ± 1,56 a	0,99 ± 0,01 a	0,74 ± 0,01 a	0,30 ± 0,01 a
FC 4%	1,20 ± 0,21 a	2,99 ± 0,23 ab	151,90 ± 24,83 a	1,00 ± 0,02 a	0,74 ± 0,01 a	0,30 ± 0,01 a
FC 6%	1,42 ± 0,20 a	3,458 ± 0,29 b	145,20 ± 13,40 a	0,96 ± 0,02 a	0,73 ± 0,01 a	0,29 ± 0,01 a

Los resultados están presentados como las medias ± desviación estándar de 2 repeticiones. Los valores con distinta letra en el mismo parámetro y en el mismo tipo de bizcocho presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

A los siete días de almacenamiento, los bizcochos con mayores porcentajes de sustitución de FC presentaron los valores más altos de dureza (**Tabla 5**). No obstante, el incremento de la dureza observado durante su almacenamiento fue menor en los bizcochos *layer* FC 6% que en los bizcochos control y FC 2% (**Tabla 5**). La razón de esta reducción de la dureza está relacionada con la alta capacidad de retención de agua de la FC y con la posible interacción entre la fibra y el almidón, lo que evitaría la pérdida de agua durante el almacenamiento y retrasaría la retrogradación del almidón, respectivamente (Gómez et al., 2003; Tsatsaragkou et al., 2016). Por lo tanto, la incorporación de FC mantendría una textura más jugosa y menos dura a lo largo del tiempo. Este efecto coincide con lo observado en otros estudios que incorporaron FC

(Korus et al., 2020; Bugarín y Gómez, 2023) y otras fibras e hidrocoloides con una alta capacidad de retención de agua (Gómez et al., 2003; Fratelli et al., 2021; Franco y Gómez, 2022) en productos horneados.

Es importante tener en cuenta que el mayor contenido de agua de los bizcochos con FC podría facilitar el desarrollo de moho, pero este no fue el caso (**Anexo 5, 6 y 7**). No obstante, tras los 7 días de almacenamiento aumentó la pegajosidad de la superficie de los bizcochos tipo *layer*, en especial en el control (es decir, más aceitoso) (**Anexo 5**). Esto se debe a que la FC puede estabilizar las emulsiones de aceite en agua por la combinación del efecto *Pickering* y la formación de una red tridimensional que evita que las gotas de aceite floculen y se unan debido a la alta retención de agua y capacidad de hinchamiento de la FC (Qi et al., 2021). En cambio, en los bizcochos tipo *sponge* con FC la superficie se conservó más húmeda (**Anexo 6**), lo cual puede deberse a la migración o difusión de agua desde la miga (más húmeda) hacia la superficie de la corteza (más seca).

3.3.3. Color de la corteza y miga

El color de la corteza del control de los bizcochos *layer* mostró un valor de L* significativamente menor que FC 6% y un valor de b* mayor que FC 4% y FC 6% (**Tabla 6**). Esto indica que, los bizcochos *layer* FC 6% tenían una corteza más clara y menos amarilla (**Anexo 5**). En el caso de los bizcochos *sponge*, el valor de b* de FC 6% fue significativamente mayor que el de FC 1% y FC 2% (**Tabla 6**). Esto indica que, los bizcochos *sponge* FC 6% tenían una corteza más amarilla. Cabe señalar que, la FC proporcionada por la empresa Rettenmaier tenía un color blanco-amarillento, lo que podría haber contribuido al color más amarillo de la corteza. No obstante, el color original de los ingredientes no suele tener una gran influencia sobre el color de la corteza, si no que depende de las reacciones de Maillard y de la caramelización de los azúcares debido a las altas temperatura que alcanza la corteza (Gómez et al., 2003).

Tabla 6. Parámetros de color de la corteza de los bizcochos *layer* y *sponge* elaborados con diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC).

Muestra	L*	a*	b*	ΔE
Layer				
Control	57,21 ± 5,82 a	17,20 ± 1,32 a	35,19 ± 0,84 c	-
FC 1%	62,18 ± 1,98 ab	13,77 ± 0,90 a	34,48 ± 0,22 bc	6,13 ± 1,66 a
FC 2%	59,31 ± 5,19 ab	16,29 ± 3,56 a	34,80 ± 0,08 bc	2,69 ± 1,94 a
FC 4%	61,81 ± 5,49 ab	15,15 ± 3,60 a	33,73 ± 0,57 b	7,74 ± 6,80 a
FC 6%	68,27 ± 0,82 b	11,41 ± 0,74 a	31,95 ± 0,50 a	13,00 ± 2,48 a
Sponge				
Control	49,82 ± 7,81 a	16,28 ± 2,56 a	30,50 ± 1,26 ab	-
FC 1%	54,31 ± 7,33 a	14,37 ± 2,87 a	29,48 ± 1,71 a	5,42 ± 0,27 a
FC 2%	54,34 ± 11,40 a	13,64 ± 4,96 a	29,37 ± 0,67 a	5,37 ± 4,33 a
FC 4%	51,42 ± 3,35 a	15,61 ± 1,46 a	31,80 ± 0,62 ab	8,56 ± 2,69 a
FC 6%	59,37 ± 0,17 a	13,47 ± 0,11 a	32,54 ± 0,14 b	10,17 ± 8,14 a

L*: luminosidad; a*: croma del espectro verde-rojo; b*: croma del espectro azul-amarillo; ΔE: diferencia de color entre el control y las muestras con FC. Los resultados están presentados como las medias ± desviación estándar de 2 repeticiones. Los valores con distinta letra en el mismo parámetro y en el mismo tipo de bizcocho presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

La FC en los bizcochos *layer* produjo una miga de color más amarillenta en comparación con el control (Tabla 7). Durante el horneado, la miga no alcanza temperaturas tan altas como la corteza, por lo que podría no haber sido suficiente para la reacción de Maillard y para la caramelización de los azúcares (Gómez et al., 2010). El color de la miga está más influenciado por el color de los ingredientes (Gómez et al., 2010; Jahanbakhshi y Ansar, 2020). Por ello, el color más amarillento de la miga se debe a que la FC es menos blanquecina que la harina de trigo.

Tabla 7. Parámetros de color de la miga de los bizcochos *layer* y *sponge* elaborados con diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC).

Muestra	L*	a*	b*	ΔE
Layer				
Control	73,84 ± 1,55 a	1,36 ± 0,09 a	15,52 ± 0,13 a	-
FC 1%	73,65 ± 1,12 a	1,80 ± 0,06 b	16,94 ± 0,24 b	1,53 ± 0,40 a
FC 2%	71,77 ± 1,59 a	2,09 ± 0,23 bc	16,80 ± 0,20 b	2,54 ± 0,10 a
FC 4%	73,33 ± 0,28 a	2,29 ± 0,04 cd	17,34 ± 0,48 b	2,43 ± 0,89 a
FC 6%	74,56 ± 0,32 a	2,41 ± 0,04 d	17,41 ± 0,18 b	2,45 ± 0,07 a
Sponge				
Control	78,30 ± 1,56 a	2,15 ± 0,48 b	17,23 ± 0,29 a	-
FC 1%	77,24 ± 2,68 a	1,54 ± 0,16 a	16,92 ± 0,75 a	1,27 ± 1,35 a
FC 2%	77,59 ± 2,48 a	1,44 ± 0,03 a	16,68 ± 0,04 a	1,29 ± 0,67 a
FC 4%	76,51 ± 0,43 a	1,73 ± 0,02 ab	16,88 ± 0,21 a	1,95 ± 0,96 a
FC 6%	77,13 ± 0,98 a	1,85 ± 0,05 ab	17,06 ± 0,03 a	1,30 ± 0,47 a

L*: luminosidad; a*: croma del espectro verde-rojo; b*: croma del espectro azul-amarillo; ΔE: diferencia de color entre el control y las muestras con FC. Los resultados están presentados como las medias ± desviación estándar de 2 repeticiones. Los valores con distinta letra en el mismo parámetro y en el mismo tipo de bizcocho presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

3.4. Análisis sensorial

La **Tabla 8** muestra que la incorporación de FC no tuvo un impacto significativo en la aceptabilidad del olor, la textura (excepto en los bizcochos *layer*) o el sabor de los bizcochos. Sin embargo, los bizcochos *layer* con FC obtuvieron una peor puntuación en su aspecto visual y en la valoración global. Esta menor puntuación en los bizcochos *layer* con FC, de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación física de los mismos, puede deberse a que: 1) tenían un menor volumen específico; 2) tenían poros de gran tamaño y con una forma irregular (**Figura 3**); 3) una textura de la miga más compacta, lo que hacía que los bizcochos fueran más densos y duros; 4) la corteza presentaba un color más claro que el control (**Anexo 5**), lo que daba impresión de que al bizcocho le faltaba tiempo de horneado; y 5) presentaban una corteza menos aceitosa, lo que les daba un aspecto menos jugoso. A pesar de las puntuaciones más bajas obtenidas en los bizcochos con FC, los valores fueron superiores a 6 (me gusta ligeramente) en la escala hedónica, lo que indica un resultado positivo. De hecho, se obtuvo una puntuación mayor en la valoración global que la obtenida por Gómez et al. (2003) en panes en los que sustituyeron un 2 y un 5% de la harina de trigo por fibra de naranja (puntuación de 6 y 4, respectivamente). Los bizcochos tipo *layer* FC 6% no se evaluaron ya que presentaron una clara pérdida de la calidad debido a su volumen notablemente menor y compacto, una textura de miga más dura y poros de gran tamaño (**Figura 3**). Por lo que es probable que estos bizcochos hubieran obtenido una puntuación considerablemente inferior a los evaluados.

Tabla 8. Aceptabilidad sensorial de los bizcochos control y con los diferentes porcentajes de sustitución de fibra cítrica (FC). El número de consumidores para el bizcocho tipo *layer* fue de 84 mientras que para el bizcocho *sponge* fue de 85.

Muestra	Aspecto visual	Olor	Textura	Sabor	Valoración global
Layer					
Control	7,86 ± 1,40 b	6,88 ± 1,46 a	7,10 ± 1,26 a	7,25 ± 1,32 a	7,43 ± 1,00 b
FC 2%	7,46 ± 1,44 ab	6,81 ± 1,54 a	6,94 ± 1,50 a	6,89 ± 1,58 a	7,05 ± 1,40 a
FC 4%	7,14 ± 1,41 a	6,50 ± 1,51 a	6,70 ± 1,49 a	6,85 ± 1,53 a	6,90 ± 1,28 a
Sponge					
Control	5,88 ± 1,72 a	6,38 ± 1,54 a	5,67 ± 1,97 a	6,16 ± 1,83 a	6,16 ± 1,53 a
FC 4%	6,16 ± 1,57 ab	6,21 ± 1,44 a	5,83 ± 1,72 ab	5,82 ± 1,61 a	5,95 ± 1,60 a
FC 6%	6,40 ± 1,57 b	6,25 ± 1,68 a	6,27 ± 1,75 b	6,15 ± 1,87 a	6,26 ± 1,51 a

Los resultados están presentados como las medias ± desviación estándar de 2 repeticiones. Los valores con distinta letra en el mismo parámetro y en el mismo tipo de bizcocho presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

En lo que respecta a los bizcochos *sponge*, las muestras con FC 6% obtuvieron una puntuación significativamente mayor que el control en cuanto a su aspecto visual y

textura (**Tabla 8**). Esto puede estar relacionado con el hecho de que los bizcochos *sponge* (el control) destacan negativamente por generar una sensación en boca de sequedad y friabilidad. Este tipo de bizcocho se suele consumir acompañado de nata, chocolate, mermelada u otro condimento que contrarreste esta sensación negativa en la boca (Gómez et al., 2012). Al incorporar la FC, la textura en boca mejoró, volviéndose más húmeda, esponjosa y jugosa. Este efecto se debe a la alta capacidad de la FC para retener agua y mejorar la retención de humedad en el producto.

Cabe señalar que, los consumidores no recibieron información nutricional sobre los bizcochos, destacando su mayor contenido en fibra y los beneficios asociados a esta, lo que podría afectar positivamente a la aceptabilidad del producto.

4. Conclusiones

El presente estudio demuestra el potencial de la FC y la posibilidad de incorporarla en formulaciones de bizcochos *layer* y *sponge*, con el fin de mejorar su calidad física, sensorial y nutricional, permitiendo así el reaprovechamiento de un subproducto con alto valor añadido dentro de la propia industria alimentaria. Los porcentajes de sustitución utilizados tuvieron un mayor efecto significativo sobre las propiedades de los bizcochos tipo *layer* que sobre las de los bizcochos tipo *sponge*. En el caso de los bizcochos *layer*, la sustitución de la harina de trigo por los mayores porcentajes de FC aumentó la densidad y viscosidad del batido. Esto dio lugar a bizcochos con un menor volumen específico, concretamente el FC 6%, y con poros de mayor tamaño e irregulares. Además, los porcentajes de sustitución de 4 y 6% de FC en *layer* resultó en un aumento de la dureza y una disminución de la elasticidad, cohesividad y resiliencia de la miga. No obstante, la miga de los bizcochos *layer* FC 6% envejeció mucho más lentamente durante su almacenamiento, lo que hace interesante esta aplicación. Por otro lado, en los bizcochos FC 6% se obtuvo una corteza más clara y menos amarilla, aunque este efecto no está claro que sea debido a la FC. En el caso de la miga, la FC condujo a un color más amarillento en comparación con el control.

Por su parte, los bizcochos *sponge* no mostraron diferencias significativas en las propiedades del batido (densidad y viscosidad) ni en las propiedades físicas, excepto en el volumen específico y en el color de la corteza. En cuanto al volumen específico, no se observó una tendencia clara ya que, los porcentajes más altos de FC (FC 4% y FC 6%) dieron lugar a un menor volumen específico en comparación con FC 1%, no respecto al control. Por otro lado, los bizcochos FC 6% tuvieron una corteza más amarillenta que FC 1% y FC 2%.

Finalmente, el análisis sensorial reveló que los bizcochos *layer* FC 4% obtuvieron la menor puntuación en cuanto al aspecto visual y la valoración global. Sin embargo, los

bizcochos *sponge* FC 6% lograron la mayor puntuación en cuanto a aspecto visual y textura. Por tanto, de acuerdo con los resultados obtenidos, los bizcochos tipo *sponge* aceptan un mayor porcentaje de FC que los bizcochos tipo *layer*. Mientras que en los bizcochos tipo *sponge* se puede sustituir un 6% de la harina de trigo por FC, ya que apenas mostraron efectos significativos en sus propiedades, en los bizcochos tipo *layer* no debe superar el 4%. Por encima de este porcentaje de sustitución, no es apropiado para la formulación del bizcocho *layer* ya que, en general, influyó negativamente en las propiedades del batido y las propiedades físicas y sensoriales del bizcocho.

Puesto que no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las propiedades de los bizcochos tipo *sponge*, sería interesante evaluar los efectos de un porcentaje de sustitución mayor de harina de trigo por FC. También, en futuros estudios sería interesante explorar la capacidad de la FC como emulsionante y su potencial para estabilizar el aceite durante el almacenamiento en bizcochos ya que en este estudio los bizcochos *layer* con FC presentaron una superficie menos aceitosa que los controles.

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>.
- 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>.
- Ben-Othman, S., Jõudu, I., & Bhat, R. (2020). Bioactives from agri-food wastes: Present insights and future challenges. *Molecules*, 25, 510. <https://doi.org/10.3390/molecules25030510>.
- 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., & Shiau 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>.
- Cohn, R., & Cohn, A. L. (1997). Subproductos del procesado de las frutas. In: Arthey, D., & Ashurst, P. R. (Eds.), *Procesado de frutas* (pp. 288). Acribia, Zaragoza, España.
- 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 la Hera, E., Ruiz-París, E., Oliete, B., & Gómez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *LWT*, 49, 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.009>.
- Dhen, N., Román, L., Rejeb, I. B., Martínez, M. M., Garogouri, M., & Gómez, M. (2016). Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.032>.
- Famuyiwa, O., & Ough, C. S. (1982). Grape pomace: possibilities as animal feed. *American Journal of Enology and Viticulture*, 33, 44-46. <https://doi.org/10.5344/ajev.1982.33.1.44>.
- 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 and Technology*, 15, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.08.007>.
- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91, 395-401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.036>.
- 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>.
- Gómez, M., Doyagüe, M. J., & de la Hera, E. (2012). Addition of pin-milled pea flour and air-classified fractions in layer and sponge cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 46, 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.014>.
- Gómez, 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, 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.026>.
- 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>.
- Gómez, M., Ruiz, E., & Oliete, B. (2011). Effect of batter freezing conditions and resting time on cake quality. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 911-916. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.037>.
- 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>.
- Guerra-Oliveira, P., Belorio, M., & Gómez, M. (2022). Wasted bread flour as a novel ingredient in cake making. *International Journal of Food Science and Technology*, 57, 4754-4762. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15577>.

- Gularte, M. A., de la Hera, E., Gómez, M., & Rosell, C. M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT-Food Science and Technology*, 48, 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.015>.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck A. (2011). *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Huang, J. Y., Liao, J. S., Qi, J. R., Jiang, W. X., & Yang, X. Q. (2021). Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel. *Food Hydrocolloids*, 110, 106140. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106140>.
- 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>.
- Jeddou, K. B., Bouaziz, F., Zouari-Ellouzi, S., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni, S., Ellouz-Ghorbel, R., & Nouri-Ellouz, O. (2017). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food Chemistry*, 217, 668-677. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.081>.
- Korus, J., Juszcak, 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>.
- Lakshminarayan, S. M., Rathinam, V., & KrishnaRau, L. (2006). Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 706-712. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2400>.
- 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, S., Kim, S., & Inglett, G. E. (2005). Effect of shortening replacement with oatrim on the physical and rheological properties of cakes. *Cereal Chemistry*, 82, 120-124. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0120>.
- Liu, Y., Heying, E., & Tanumihardjo, S. A. (2012). History, global distribution, and nutritional importance of citrus fruits. *Comprehensive reviews in Food Science and Food safety*, 11, 530-545. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00201.x>.

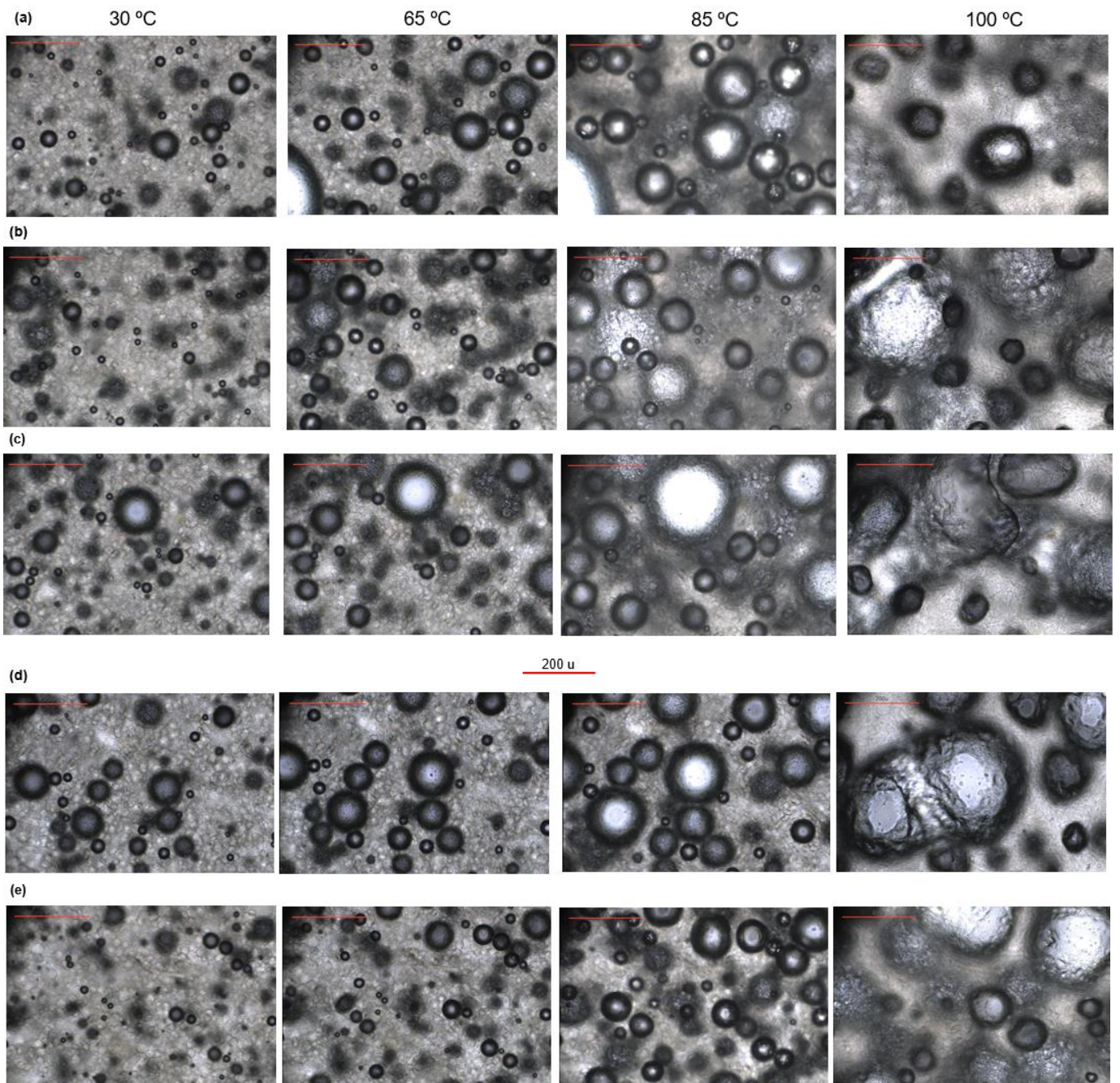
- Lundberg, B. (2005). Using highly expanded citrus fiber to improve the quality and nutritional properties of foods. *Cereal Foods World*, 50, 248-252.
- Lundberg, B., Pan, X., White, A., Chau, H., & Hotchkiss, A. (2014). Rheology and composition of citrus fiber. *Journal of Food Engineering*, 125, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.021>.
- Ma, Y.S., Pan, Y., Xie, Q.T., Li, X.M., Zhang, B., & Chen, H.Q. (2019). Evaluation studies on effects of pectin with different concentrations on the pasting, rheological and digestibility properties of corn starch. *Food Chemistry*, 274, 319-323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.005>.
- Majzoobi, M., Pashangeh, S., & Farahnaky, A. (2014). Effect of wheat bran of reduced phytic acid content on the quality of batter and sponge cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 987-995. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12055>.
- Majzoobi, M., Poor, Z. V., Jamalian, J., & Farahnaky, A. (2016). Improvement of the quality of gluten-free sponge cake using different levels and particle sizes of carrot pomace powder. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 1369-1377. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13104>.
- 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>.
- 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>.
- Mironeasa, S., & Codină, G. G. (2013). Effect of citrus fibers addition on wheat flour dough rheological properties. *Food and Environment Safety Journal*, 12, 322-327.
- Nomura, A. M., Hankin, J. H., Henderson, B. E., Wilkens, L. R., Murphy, S. P., Pike, M. C., Marchand, L.L., Stram, D.O., Monroe, K.R., & Kolonel, L. N. (2007). Dietary fiber and colorectal cancer risk: the multiethnic cohort study. *Cancer Causes & Control*, 18, 753-764. <https://doi.org/10.1007/s10552-007-9018-4>.
- Oliete, B., Pérez, G. T., Gómez, M., Ribotta, P. D., Moiraghi, M., & León, A. E. (2010). Use of wheat, triticale and rye flours in layer cake production. *International journal of Food Science and Technology*, 45, 697-706. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02183.x>.

- Padayachee, A., Day, L., Howella, K. & Gidley M. J. (2017). Complexity and health functionality of plant cell wall fibers from fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 59-81. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.850652>.
- Pickering, S. U. (1907). Emulsions. *Journal of the Chemical Society*, 91, 2001-2021. <http://dx.doi.org/10.1039/CT9079102001>.
- Poonnakasem, N., Laohasongkram, K., & Chaiwanichsiri, S. (2015). Influence of hydrocolloids on batter properties and textural kinetics of sponge cake during storage. *Journal of Food Quality*, 38, 441-449. <https://doi.org/10.1111/jfq.12167>.
- Qasem, A. A. A., Alamri, M. S., Mohamed, A. A., Hussain, S., Mahmood, K., & Ibraheem, M. A. (2017). Soluble fiber-fortified sponge cakes: formulation, quality and sensory evaluation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 1516-1522. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9530-5>.
- 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>.
- Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S. A., Bashir, N., Nazir, F., & Nayik, G. A. (2018). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17, 351-358. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.006>.
- Ronda, F., Gómez, M., Caballero, P. A., Oliete, B., & Blanco, C. A. (2009). Improvement of quality of gluten-free layer cakes. *Food Science and Technology International*, 15, 193-202. <https://doi.org/10.1177/1082013208105170>.
- 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>.
- Sahagún, M., Bravo-Núñez, Á., Báscones, G., & Gómez, M. (2018). Influence of protein source on the characteristics of gluten-free layer cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 94, 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.014>.
- Schieber, A., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds-recent developments. *Trends in Food Science and Technology*, 12, 401-413. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00012-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00012-2).
- Segundo, C., Román, L., Gómez, M., & Martínez, M. M. (2017). Mechanically fractionated flour isolated from green bananas (*M. cavendishii* var. *nanica*) as a tool

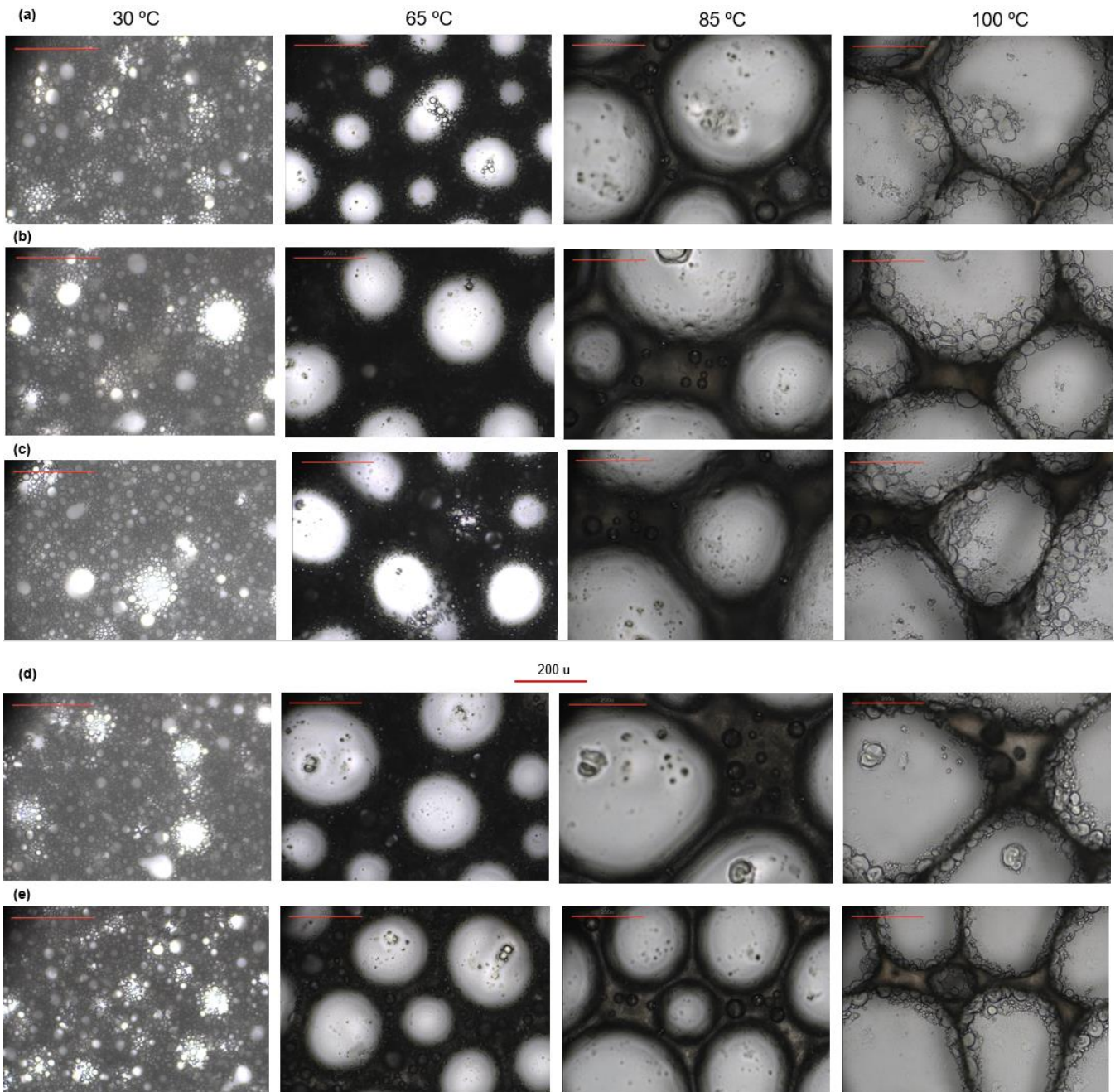
- to increase the dietary fiber and phytochemical bioactivity of layer and sponge cakes. *Food Chemistry*, 219, 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.143>.
- Sodchit, C., Tochampa, W., Kongbangkerd, T., & Singanusong, R. (2013). Effect of banana peel cellulose as a dietary fiber supplement on baking and sensory qualities of butter cake. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 35, 641-646.
- 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>.
- Stauffer, C. E. (1990). *Functional additives for bakery foods*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Sudha, M. L., Baskaran, V., & Leelavathi, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104, 686-692. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.016>.
- 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>.
- Unión Europea. (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 51, 3-30.
- Valdés, S. E. (2006). Hidratos de Carbono. In: S. Badui, & E. Quintanar (Eds.), *Química de los Alimentos* (pp. 29-118). Pearson Educación, México.
- Vilariño, M.V., Franco, C. & Quarrington, C. (2017). Food loss and waste reduction as an integral part of a circular economy. *Frontiers in Environmental Science*, 5, 1-5. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00021>.
- Waldron, K. W., Parker, M. L., & Smith, A. C. (2003). Plant cell walls and food quality. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 128-146. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00019.x>.
- 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).

- 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>.
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science and Technology*, 30, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.01.001>.
- Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2008). The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten–starch blends. *Food Chemistry*, 110, 909-915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.079>.
- Willats, W. G., Knox, J. P., & Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science and Technology*, 17, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.008>.
- Zabik, M. Y. E., Shafer, M. A., & Kukorowski, B. W. (1977). Dietary fiber sources for baked products: Comparison of cellulose types and coated-cellulose products in layer cakes. *Journal of Food Science*, 42, 1428-1431. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb08391.x>.
- Zema, D. A., Calabrò, P. S., Folino, A., Tamburino, V., Zappia, G., & Zimbone, S. M. (2018). Valorisation of citrus processing waste: A review. *Waste Management*, 80, 252-273. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.024>.

6. Anexos



Anexo 1. Microestructura (x20) del batido de bizcochos *layer* control (a) y con los diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC): FC 1% (b), FC 2% (c), FC 4% (d) y FC 6% (e) a diferentes temperaturas (30, 65, 85 y 100 °C).

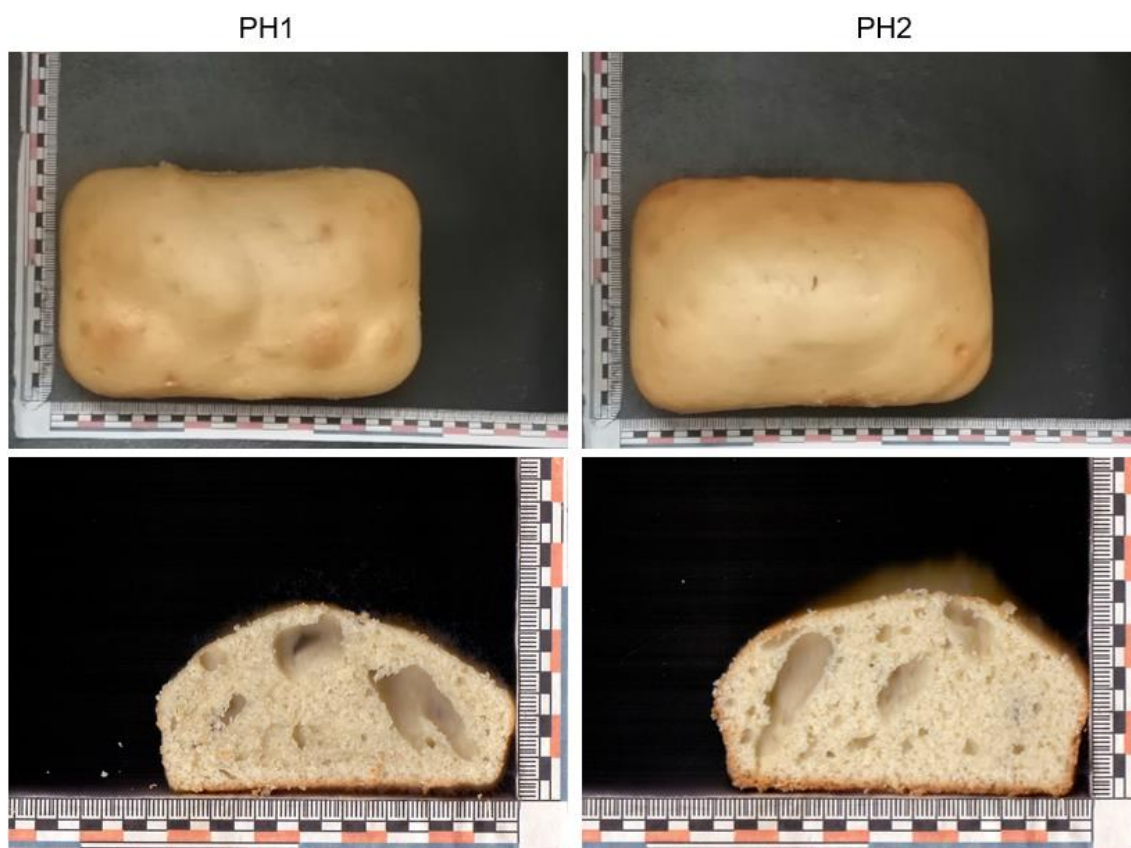


Anexo 2. Microestructura (x20) del batido de bizcochos *sponge* control (a) y con los diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC): FC 1% (b), FC 2% (c), FC 4% (d) y FC 6% (e) a diferentes temperaturas (30, 65, 85 y 100 °C).

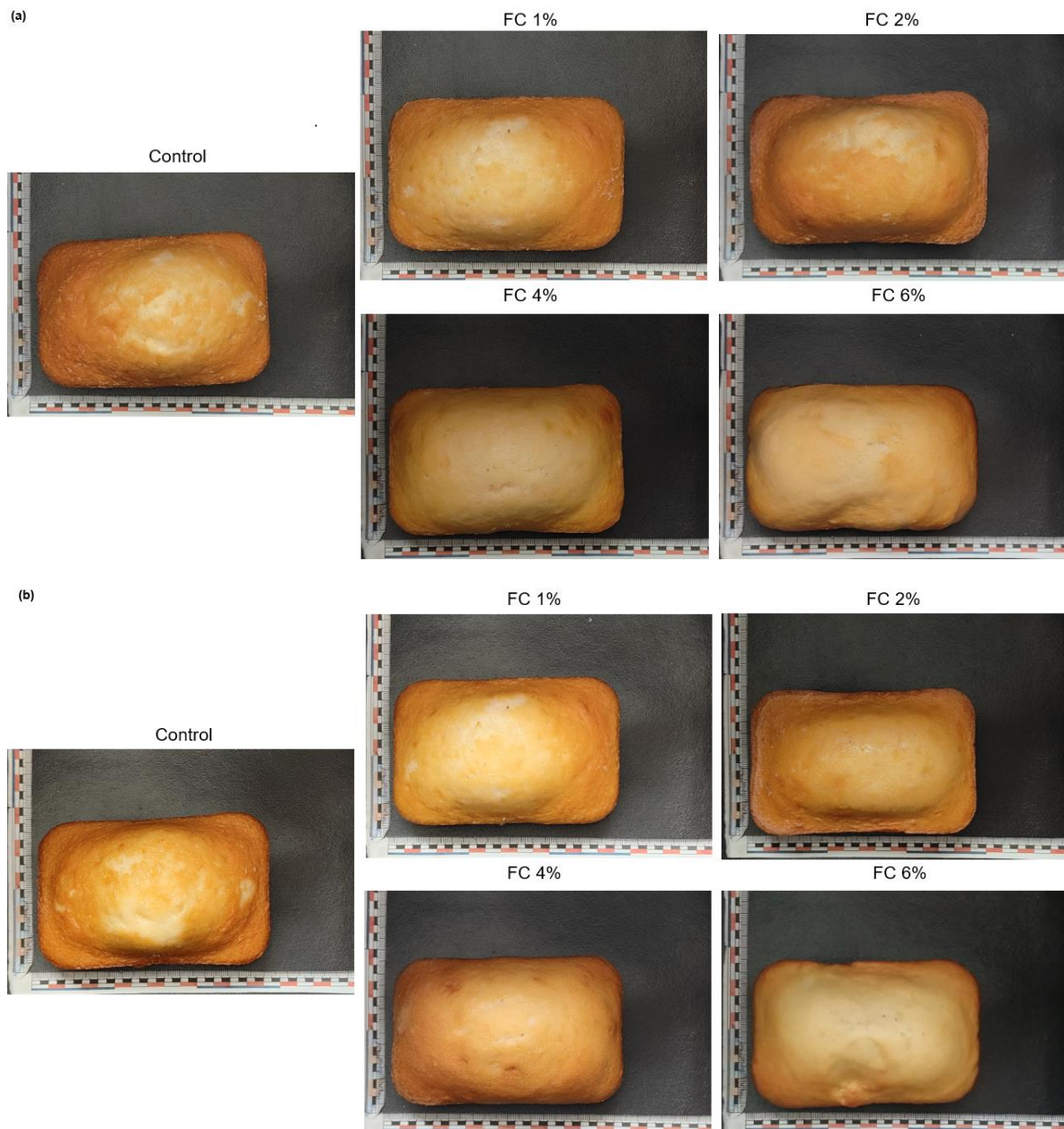
Anexo 3. Propiedades del batido y del bizcocho final obtenido de la prueba de hidratación de la formulación *layer* FC 6%.

Muestra	Viscosidad 30°C (cP)	Pérdida de peso (%)	Volumen específico (mL/g)
Layer			
Control	3738 ± 398 a	9,04 ± 0,21 ab	2,69 ± 0,03 d
FC 6%	15011 ± 1176 c	8,02 ± 0,21 a	2,35 ± 0,00 c
PH1	3887 ± 1033 a	10,37 ± 0,69 c	1,90 ± 0,04 b
PH2	9299 ± 157 b	9,19 ± 0,18 b	2,22 ± 0,04 a

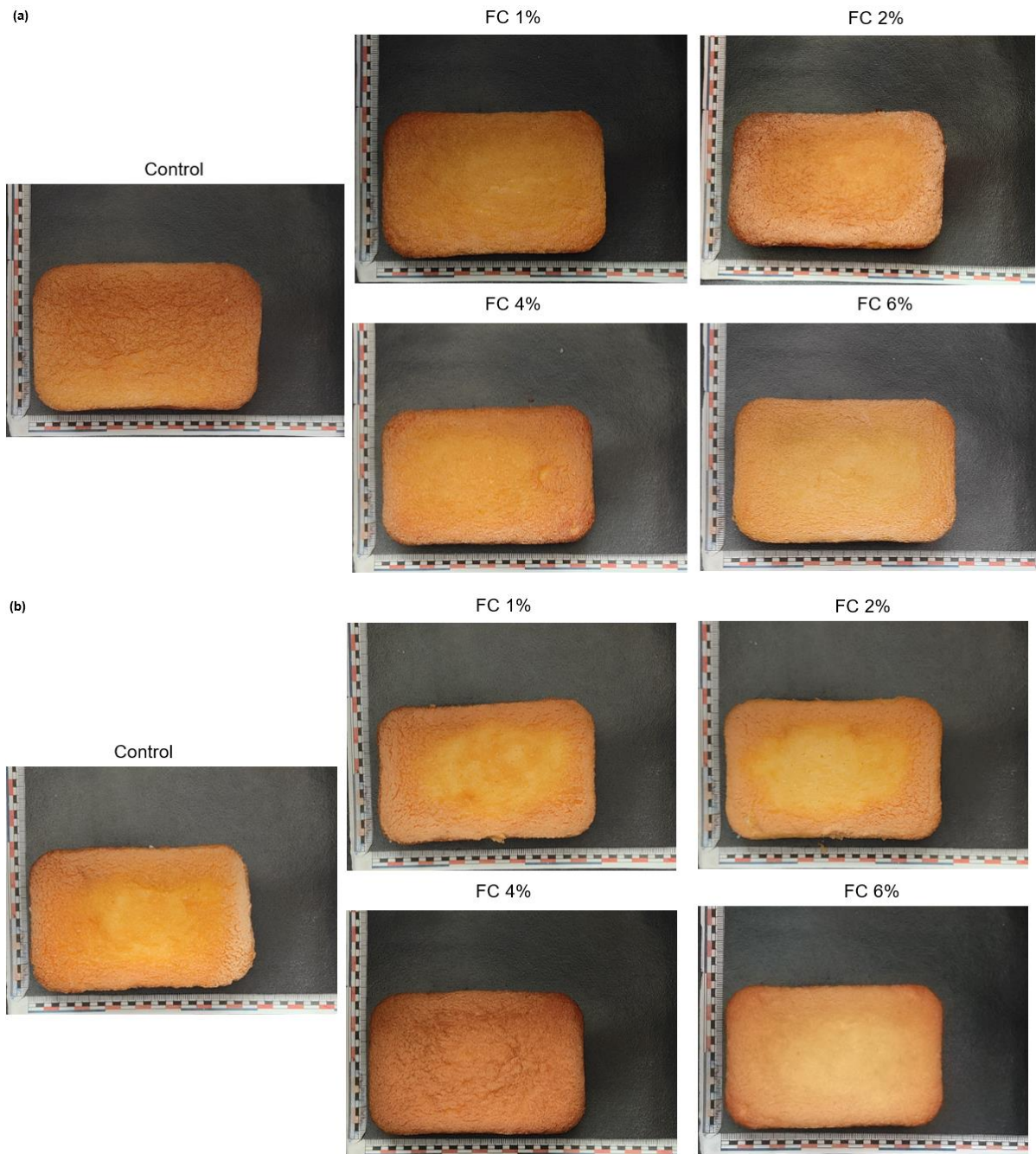
PH1: prueba hidratación 1 en la que se añadió 100 g de agua a mayores; PH2: prueba hidratación 2 en la que se añadió 35 g de agua a mayores; FC: fibra cítrica. Los resultados están presentados como las medias ± desviación estándar de 2 repeticiones. Los valores con distinta letra en el mismo parámetro y en el mismo tipo de bizcocho presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).



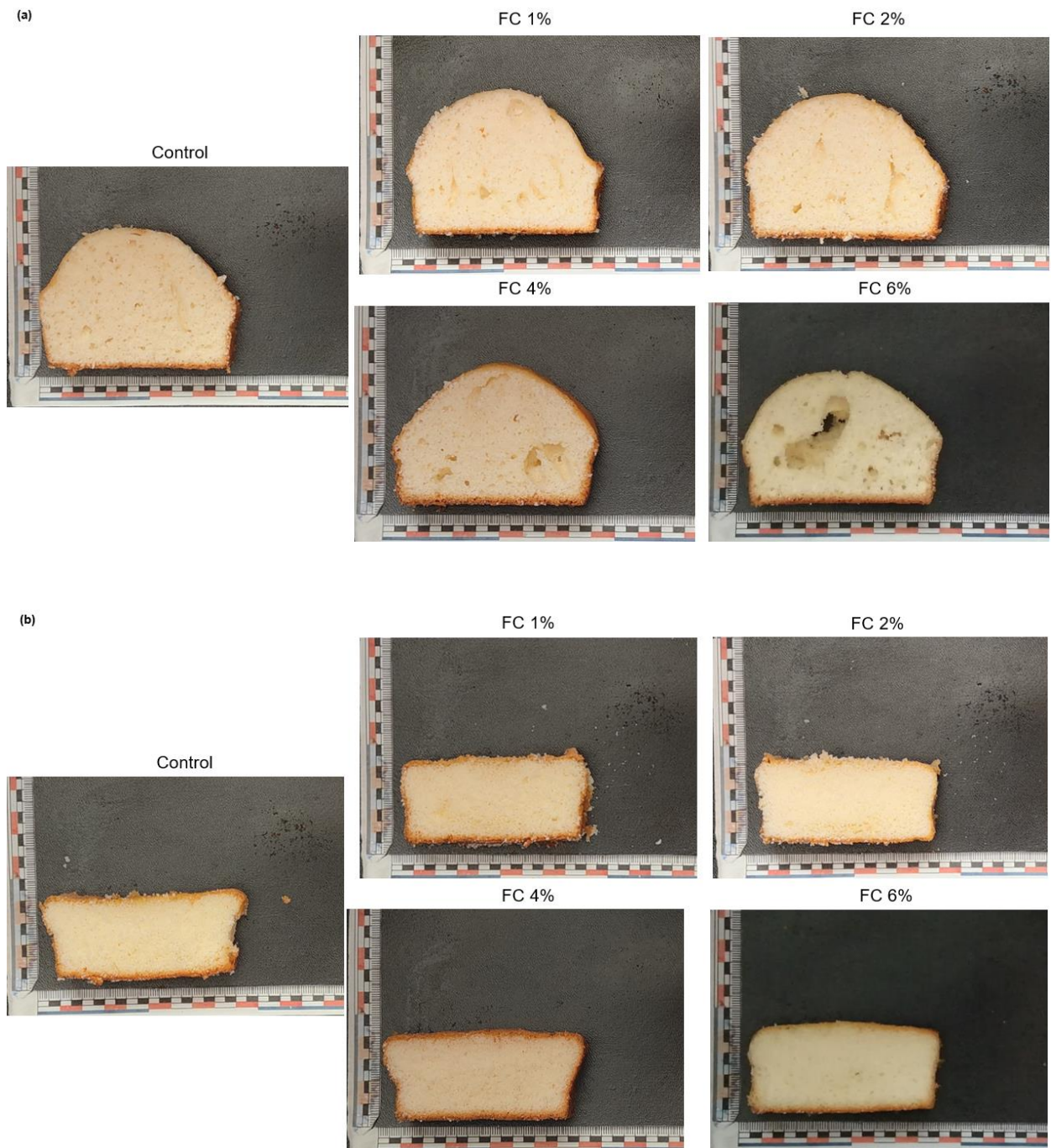
Anexo 4. Aspecto visual y rebanada central de los bizcochos tipo *layer* FC 6% obtenido de la prueba de hidratación 1 (PH1: 100 g de agua a mayores) y 2 (PH2: 35 g de agua a mayores) 24 h después del horneado.



Anexo 5. Aspecto visual de los bizcochos tipo *layer* control y con los diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC) (FC 1%, FC 2%, FC 4% y FC 6%) 24 h (a) y 7 días (b) después de su horneado.



Anexo 6. Aspecto visual de los bizcochos tipo *sponge* control y con los diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC) (FC 1%, FC 2%, FC 4% y FC 6%) 24 h (a) y 7 días (b) después del horneado.



Anexo 7. Rebanadas centrales de los bizcochos tipo *layer* (a) y *sponge* (b) control y con los diferentes porcentajes de fibra cítrica (FC) (FC 1%, FC 2%, FC 4% y FC 6%) 7 días después de su horneado.