



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## *APLICACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL DISEÑO DE PAN FUNCIONAL PARA CELÍACOS*

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E  
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A: Adrián Matas Gil

TUTOR/A ACADEMICO: Purificación García Segovia  
COTUTOR/A : Javier Martínez Monzó  
DIRECTOR EXPERIMENTAL: Marta Igual Ramo

*Curso Académico:2020-2021*

**VALENCIA, 10 de Septiembre**

# **APLICACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL DISEÑO DE PAN FUNCIONAL PARA CELÍACOS**

Adrián Matas Gil, Marta Igual Ramo<sup>1</sup>, Purificación García Segovia<sup>1</sup>, Javier Martínez Monzó<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Food Investigation and Innovation Group, Food Technology Department, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain; marigra@upvnet.upv.es (M.I.); pugarse@tal.upv.es (P.G.); xmartine@tal.upv.es (J. M.)

## **RESUMEN**

El diseño de los alimentos funcionales mediante impresión 3D se propone como una de las tecnologías más adecuadas para acercar la personalización de alimentos a la población. Es por ello la importancia del estudio de los biomateriales utilizados en la impresión. En este estudio se evaluó el efecto de la incorporación de escaramujo como ingrediente funcional en una masa panaria apta para celíacos. Se utilizó tres tipos de masas (control, escaramujo y escaramujo encapsulado) para imprimir figuras rectangulares de 7 cm de largo, 3 cm de ancho y 1, 2 y 3 cm de alto. Se evaluó los cambios en las figuras impresas antes y después del horneado mediante análisis de imagen. Tanto en las masas preimpresas como en las muestras impresas y horneadas se determinaron diferentes propiedades fisicoquímicas, así como su composición centesimal y bioactiva final. Se observó que la incorporación del escaramujo mejoró notablemente el valor nutricional modificando solamente los parámetros fisicoquímicos de color, pH y humedad.

**PALABRAS CLAVE:** Impresión 3D de alimentos; pan; celíacos; rosa canina (escaramujo); propiedades funcionales y tecnológicas.

## **RESUM**

El disseny dels aliments funcionals mitjançant impressió 3D es proposa com una de les tecnologies més adequades per a acostar la personalització d'aliments a la població. És per això la importància de l'estudi dels biomaterials utilitzats en la impressió. En aquest estudi es va avaluar l'efecte de la incorporació de gavrera com a ingredient funcional en una massa panaria apta per a celíacs. Es va utilitzar tres tipus de masses (control, gavrera i gavrera encapsulada) per a imprimir figures rectangulars de 7 cm de llarg, 3 cm d'ample i 1, 2 i 3 cm d'alt. Es va avaluar els canvis en les figures impreses abans i després de l'enfornat mitjançant anàlisi d'imatge. Tant en les masses preimpreses com en les mostres impreses i enfonades es van determinar diferents propietats fisicoquímiques, així com la seua composició centesimal i bioactiva final. Es va observar que la incorporació de la gavrera va millorar notablement el valor nutricional modificant solament els paràmetres fisicoquímics de color, pH i humitat.

**PARAULES CLAU:** Impressió 3D d'aliments; pà; celíacs; rosa canina (gavrera); propietats funcionals i tecnològiques.

## **ABSTRACT**

The design of functional foods through 3D printing is proposed as one of the most appropriate technologies to closer food personalization to the population. However, it is essential to study the properties of the biomaterials to be printed. In this work, the incorporation of rosehip as a functional ingredient to bread dough for celiac will be evaluated. Three types of dough (control, rosehip, and encapsulated rosehip) will be printed in a rectangular figure of dimensions 7 cm long, 2 cm wide and 1, 2, 3 cm high. Changes in the printed figures before and after baking were evaluated by image analysis. Different physicochemical properties, as well as their final centesimal and bioactive composition, were determined both in the pre-printed masses and in the printed and baked samples. It was observed that the incorporation of rosehips notably improved the nutritional value by modifying only the physicochemical parameters of color, pH and moisture.

**KEYWORD:** 3D food printing; Celiac; bread; rosehip; functional and technological properties.

## INTRODUCCIÓN

En el mercado alimentario los productos están en constante innovación. Actualmente entre las tendencias alimentarias destaca la personalización. Una de las herramientas de producción en las que se lleva trabajando para seguir esta tendencia es la impresión 3D de ciertos alimentos (Godoi et al., 2019).

Como material imprimible se puede encontrar diversas formulaciones moldeables como: galletas (Uribe-Wandurraga et al., 2020; Jagadiswaran et al., 2021), snacks (Derossi et al., 2020), geles (Habibur et al., 2020; Jeoin et al., 2021; Nijdam et al., 2021), mantequilla cacahuete, queso crema (Nijdam et al., 2021). En los últimos 10 años, se ha utilizado la impresión 3D para la elaboración de alimentos funcionales o para la fabricación de nuevas formas, texturas, sabores, colores etc. (Caporizzi et al., 2019) Además, también se ha visto como técnica útil para el aprovechamiento de residuos de la industria alimentaria (Jagadiswaran et al., 2021).

Por otra parte, otra de las tendencias alimentarias es la elaboración de alimentos funcionales. A lo largo de las últimas décadas se ha acuñado el término actual de alimento funcional, pero cabe decir que estos existen desde los años 80 con el nombre de FOSHU. Surgió en Japón con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y reducir el riesgo de enfermar. FOSHU significa "Food with Specific Health Uses" y engloba a aquellos alimentos que tienen efectos beneficiosos específicos en la salud del consumidor debido a los ingredientes que incorporan o a la eliminación de aquellos con efecto perjudicial (Valenzuela et al., 2014).

Dentro de los alimentos funcionales se incluyen aquellos que eliminan el gluten de su composición. Estos productos son funcionales debido a que eliminan el riesgo de estado de enfermedad de la población celíaca. A pesar de que estos productos favorecen la vida cotidiana del grupo intolerante al gluten, se ha observado que el seguimiento estricto de una dieta libre de éste presenta ciertas deficiencias nutricionales. Las principales deficiencias aparecen sobre todo en micronutrientes como las vitaminas del grupo B, especialmente el ácido fólico, la vitamina D, el calcio y el hierro, pero también en macronutrientes como la fibra. Es por ello que esta población ve aumentado el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, metabólicas, diabetes, sobrepeso y obesidad (de la Calle et al., 2020). Para poder paliar estas necesidades, los alimentos sin gluten deben de ser enriquecidos con otros ingredientes que suplementen estos nutrientes.

Actualmente existe un creciente interés por las plantas silvestres ya que presentan altos contenidos en compuestos bioactivos que presentan un efecto positivo sobre la salud. El escaramujo (*Rosaceae canina*) ha sido utilizado para remedios medicinales durante años. En este fruto se encuentra una alta concentración de vitamina C y flavonoides, taninos y vitaminas A, B1, B2, B3 y K (Yashaswini et al., 2011). En estudios recientes se ha observado que en los componentes del escaramujo predomina la vitamina C, las proantocianidinas, los galactolípidos y el folato. Además, se encuentran flavonoides, pectina, vitamina A y otras vitaminas del complejo B, vitamina E y minerales como el Ca, Mg, K, S, Si, Fe, Se y Mn (Patel, 2017).

Cabe destacar que el escaramujo presenta un contenido moderado de carotenoides, 224 mg/ kg fruto deshuesado, mayoría formada por licopeno y  $\beta$ -caroteno (Razungles et al., 1989). Los carotenoides son componentes bioactivos con propiedades beneficiosas para salud, como por ejemplo su función antioxidante (Medveckienè et al., 2020). También confieren el color anaranjado a rojizo que presentan estos frutos (Andersson et al., 2011).

De acuerdo lo expuesto anteriormente, el objetivo de este estudio es la obtención de panes sin gluten elaborados mediante impresión 3D y enriquecidos con escaramujo. Para ello se utilizaron tres masas: control, con escaramujo en polvo y la tercera con escaramujo en polvo protegido con maltodextrina. Las masas se imprimieron con un diseño rectangular de 3 cm de ancho, 7 cm de largo y 1-2-3 cm de alto y hornearon para obtener las propiedades físicas y nutricionales tanto antes como después del horneado.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la elaboración de las masas panarias utilizadas en la impresión, se empleó un preparado de harina sin gluten suministrada por la empresa Sinblat (Sinblat Alimentación Saludable S.L., Foios, España), la sal, el agua, la levadura química y el aceite se compraron en un supermercado local. El escaramujo se recogió en septiembre-octubre de 2020 en la localidad Aldehuela (Teruel, España).

### **Obtención del polvo de escaramujo**

Los frutos fueron lavados y homogenizados con una Thermomix (TM 21, Vorwerk, Valencia, España) durante 1 min a 5200 rpm. Una vez homogenizado, se añadieron 1.000 g de agua destilada y volvió a homogenizar durante 5 min a 5.200 rpm. La mezcla obtenida se filtró en un tamiz (diámetro 1 mm, Cisa 029077, 1 series). Se prepararon dos formulaciones, una sin modificar, llamada escaramujo (E) y otra con incorporación de maltodextrina (MD), 10 g MD a 90 g de mezcla filtrada y llamada escaramujo con maltodextrina (EM). Después, las mezclas fueron congeladas y liofilizadas en bandejas de aluminio (15 cm de diámetro y 5 cm de alto) formando una capa de 0,5 cm de espesor. Las dos mezclas fueron congeladas a  $-42^{\circ}\text{C}$  en un congelador vertical (CVF450/45, Ing. Climas, Barcelona, España) durante 24h para su posterior liofilización en un equipo Lioalfa-6 Lyophiliser (Telstar, España) a 2.600 Pa y  $-56,6^{\circ}\text{C}$  durante 48 h. El producto obtenido tras la liofilización fue triturado en el molinillo (Minimoka, Taurus, Lleida, España) para obtener el polvo que se incorporó a las masas.

## **Elaboración de las masas**

Para cada análisis e impresión se elaboraron tres masas distintas, masa control (MB), masa con escaramujo (ME) y masa con escaramujo y maltodextrina (MEM). Cada masa elaborada pesaba 500 g gramos y estaban compuestas por 56% agua, 40% preparado sin gluten, 2,4% levadura química, 1,2% aceite y 0,4% sal. En aquellas que se le incorporaron escaramujo o escaramujo con maltodextrina se introdujo al 7% que se restó a la cantidad de preparado sin gluten. Estos ingredientes se incorporaron a una amasadora (Kenwood chef classic, KM400/99 plus, Kenwood Corporation, Tokyo, Japan) donde primero se mezcló a mano para evitar la pérdida de los componentes secos y después, durante 45 s se agitó a velocidad mínima seguida de 5 min a velocidad 2. Una vez obtenidas se introdujeron en una jeringuilla para posteriormente imprimirlas en 3D.

## **Impresión 3D de las masas**

Para llevar a cabo el ensayo de impresión primero se diseñaron las distintas formas de los productos a estudiar. Se diseñaron tres formas rectangulares de 7 cm de largo, 3 cm de ancho y de altura variable entre 1, 2 y 3 cm mediante el programa Autodesk 123D design (Autodesk Inc, San Rafael). Con la forma diseñada se introdujo en el programa Slic3r (Alessandro Ranellucci) para configurar los parámetros de impresión: velocidad de aguja 20 mm/s, aumento de altura de la aguja entre capa y capa de 1,7 mm y relleno de las capas rectilíneo y del 60%, a excepción de las primeras capas con un 100% de relleno.

La impresión de las masas se llevó a cabo en una impresora 3D de alimentos (BCN -D+, BCN3D Technologies, Barcelona, Spain). La impresora 3D estaba compuesta por un sistema de extrusión (jeringuilla más bomba) y un sistema de posicionamiento X-Y-Z. La impresión se realizó a temperatura ambiente, con velocidad de extrusión de 3 mL/min, aguja de 1,63 mm de diámetro y en un soporte de acero inoxidable para poder hornearlo posteriormente. El horneado de las muestras se realizó a 190°C y el tiempo de horneado se adaptó a la altura de la muestra, 16, 22 y 26 min para 1, 2 y 3 cm, respectivamente.

## **Determinaciones**

### *CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA*

Se caracterizaron las propiedades reológicas en un reómetro Kinexus Pro+ (Malvern Instruments, Worcesterchire, Reino Unido) de los tres tipos de masas (control, con escaramujo y con escaramujo y maltodextrina). Para ello se llevó a cabo un ensayo oscilatorio placa placa de 25 mm con espacio entre muestra y placa de 2 mm, esfuerzo de 1 Pa, rango de frecuencia de 0,1 a 10 Hz y a temperatura constante de 25°C.

## ANÁLISIS DE IMAGEN

Se tomó la imagen de cada una de las barras antes y después de hornearlas. Estas imágenes fueron analizadas con el programa ImageJ (ImageJ, NIH, USA) para determinar la evolución de la forma de éstas antes y tras el proceso de horneado (figura 1). Con los valores obtenidos de las imágenes recién impresas se calculó la diferencia respecto a las proporciones dadas en la impresión (7 cm largo, 3 cm ancho y 1, 2 o 3 cm alto). Una vez horneadas se calculó la diferencia de las proporciones respecto a las que tenían una vez impresas.

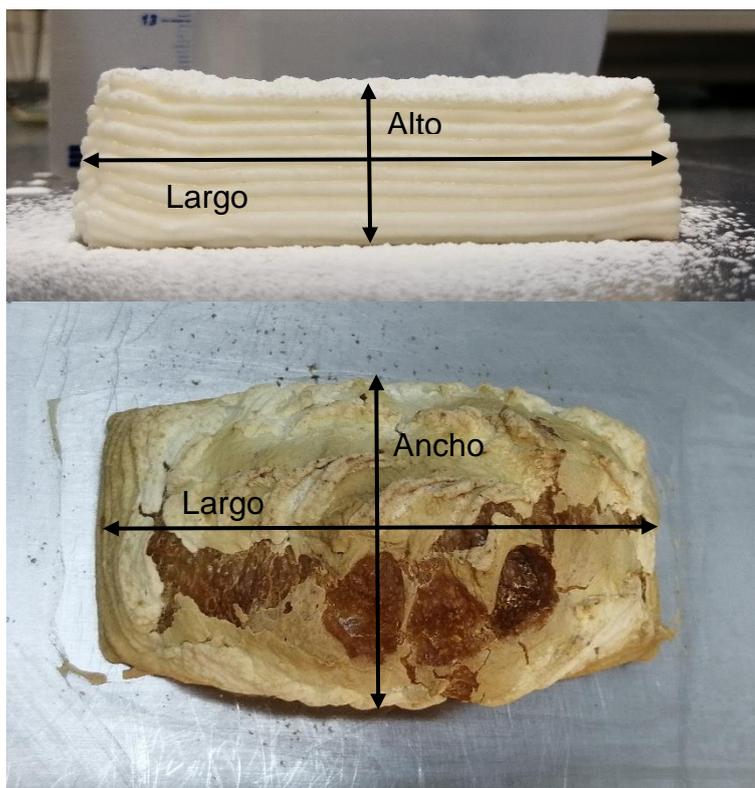


FIGURA 1. Muestra de la toma de datos en análisis de imagen.

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Se midió la actividad del agua con un equipo AquaLab PRE (Decagon Devices, Inc., Pullman WA, Estados Unidos). El pH se cuantificó con un pHmetro (MM41 MultiMeter, Crison instruments, S.A., Barcelona, España). La humedad (g/100g) de las barras de pan impresas fue determinada mediante secado al vacío en una estufa de vacío (Vaciotem, J.P. Selecta, España) a  $70 \pm 1^\circ\text{C}$  y por debajo de 100 mmHg de presión hasta obtener peso constante, como se indica en el método 964.22 de la AOAC (AOAC, 2000a)

## *ANÁLISIS COLOR*

Para la medición del color de las muestras se obtuvieron las coordenadas CIE L\*a\*b\* (L\*: luminosidad, a\*: eje abscisas verde/rojo, b\*: eje ordenadas amarillo/azul) con un espectrofotómetro CM-700d (Konica Minolta Sensing, Inc., Japón) y un accesorio de tamaño de apertura SAV. Las medidas se realizaron con iluminante D65 y un ángulo de observador de 10° tanto para la corteza de los panes como para la miga. Con los datos de las coordenadas se calcularon el resto de parámetros colorimétricos: tono (h), croma (C) y diferencia de color ( $\Delta E$ ).

## *CARACTERIZACIÓN TEXTURAL*

La caracterización textural de las muestras se realizó con un ensayo TPA con el texturómetro TA.XT.plus (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) utilizando el programa Texture Exponent 32 (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) con un accesorio de placa de 4 cm de diámetro llegando al 20-40% de deformación. Además, en este mismo equipo se llevó a cabo un ensayo de punción de la corteza de las muestras.

## *DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS*

Se determinaron compuestos bioactivos tanto de las masas liofilizadas como de los panes liofilizados. Los análisis consistieron en la determinación de fenoles totales (FY), actividad antioxidante (AOA) y carotenoides totales (CT).

En el caso de los fenoles totales, se tomó como referencia la metodología explicada en García-Segovia et al. (2021), pero adaptando la toma de muestra inicial. Se tomó 1 g de muestra liofilizada y se añadieron 5 mL de metanol en un tubo falcon. Los tubos se llevaron a la centrifuga (Eppendorf Centrifuge 5804 R, Hamburg, Alemania) a 4°C y 10.000 rpm durante 10 min. Una vez centrifugado se pipetearon 250  $\mu$ L del sobrenadante, se añadieron 1,25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemania) y se guardó en un lugar aislado de luz durante 8 min. Pasados los 8 min se añadieron 3,75 mL de carbonato de sodio y volvió a guardar durante 2 h más sin que les incidiera la luz. Por último, se dispuso las muestras en cubetas de plástico y analizaron en el espectrofotómetro UV-3100PC (VWR, Leuven Bélgica) a una longitud de onda de 765 nm. El contenido en fenoles totales se expresó como mg de ácido gálico (Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemania) equivalente por 100 g de muestra.

La determinación de la actividad antioxidante (AOA) se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita en Igual et al. (2019). Este método evalúa la AOA mediante la neutralización de los radicales libres de las muestras haciendo uso del radical estable DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Se tomó 0,1 mL de sobrenadante obtenido en el análisis de fenoles totales e incorporó 3,9 mL de DPPH (0,030 g/L, Sigma-Aldrich, Alemania) en metanol en una cubeta de plástico. La muestra fue medida con un espectrofotómetro UV-3100PC (VWR, Leuven Bélgica) a una absorbancia de 515 nm y la

reacción tras 5 min. El porcentaje de DPPH se calculó usando la siguiente ecuación (Ecuación 1):

$$\%DPPH = \frac{A_{control} - A_{muestra}}{A_{control}} \times 100 \quad (1)$$

Donde;  $A_{control}$  = absorbancia en el tiempo inicial;  $A_{muestra}$  = absorbancia pasados 5 min.

Los resultados del porcentaje de DPPH se expresaron como milimoles de trolox equivalentes (TE) por 100 g (mmol TE/100 g) mediante una curva de calibrado de Trolox en el rango 6,25-150 mM (Sigma-Aldrich, Darmstadt, Alemania).

Por último, la cuantificación de los carotenoides totales se realizó mediante espectrofotometría como se indica en la AOAC (2000b), se siguió la metodología de extracción de Olives-Barba et al. (2006). Se tomaron 5 g de las muestras, se incorporó una mezcla de hexano/acetona/etanol (50:25:25 v/v/v) y se dispusieron en agitación y oscuridad durante 30 min. Después, se añadieron 15 mL de agua desionizada y tomaron 4 mL de la fase superior (fase hexano) e introdujeron en una cubeta de vidrio. La muestra se midió en el espectrofotómetro UV-3100PC (VWR, Leuven Bélgica) a 446 nm. Los resultados se expresaron como mg de  $\beta$ -caroteno/100 g.

### COMPOSICIÓN CENTESIMAL

Para realizar la composición centesimal de las muestras, se cuantificó las proteínas, la grasa, los carbohidratos disponibles, la humedad, las cenizas y por diferencia la fibra.

Se determinó el contenido en nitrógeno de los panes mediante el método Dumas según el método oficial 990.03 de la AOAC (AOAC, 2002). Para este análisis se utilizó el equipo Leco CN628 elemental Analyzer (Leco Corporation, St. Joseph, MI, EE.UU.). La proteína cruda (PC) se calculó como el contenido en nitrógeno multiplicado por el factor de nitrógeno (5,62) usado para el maíz (Mariotti et al., 2008).

Para la determinación de la grasa de las muestras de pan se llevó a cabo la metodología ANKOM (ANKOM Technology, Macedon NY, EEUU). Para realizar el ensayo se pesaron 0,5 g de las muestras liofilizadas en sobres de celulosa termosellados más tarde. Los sobres se introdujeron en el equipo ANKOM (ANKOM Technology, Macedon NY, EEUU). Pasado el tiempo de ensayo los sobres fueron almacenados en estufa durante 24 h para posteriormente anotar el peso de las muestras desengrasadas.

Para la obtención del contenido en cenizas, se pesaron aproximadamente 0,5 g de los panes liofilizados en crisoles de porcelana. Los crisoles se dispusieron en placas calefactoras dentro de campana de gases y sin tapa para prequemar la muestra. Se hizo una curva de temperatura desde temperatura ambiente hasta aproximadamente 400 °C hasta observar el comienzo de cambio de color de negro a blanco. Los crisoles fueron almacenados en un desecador hasta el posterior día. Se incorporaron en la mufla (Select-Horn, Selecta, Barcelona, España) y realizó

una rampa de temperatura hasta 550°C donde se mantuvo durante 24 h. Una vez enfriada la mufla los crisoles atemperados se pesaron para el cálculo de las cenizas por diferencia.

Para la determinación de los carbohidratos libres se puso a punto el método de la antrona (Ohemeng y Datta, 2018; Morris, 1948). Para ello se realizó una recta de calibrado con los puntos 0, 10, 25, 50, 75 y 100 mg/L del patrón D-glucosa y preparó el reactivo de antrona 1 g/L con ácido sulfúrico al 96 %. Se pesó 1 g de cada muestra de pan liofilizado y añadieron 10 mL de agua desionizada, 15 mL de ácido perclórico al 52 % y dejó durante 12 h. Pasado el periodo se enrasó a 100 mL, filtró y volvió a aforar a 250 mL. De este matraz se tomó una alícuota de 10 mL que se volvió a aforar en 100 mL. La muestra se midió en el espectrofotómetro UV-3100PC (VWR, Leuven Bélgica) a 620 nm La determinación de la humedad se realizó como se describe en el apartado de “análisis fisicoquímicos”. Por último, la fibra no fue determinada mediante análisis, se calculó como diferencia del resto de componentes.

### *ANÁLISIS ESTADÍSTICO*

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) para un intervalo de confianza del 95 % ( $p < 0,05$ ) para evaluar las diferencias entre los distintos panes. Además, se realizó un análisis multivariable para ver la posible interacción entre la altura y el tipo de masa. Todos estos análisis se llevaron a cabo con el programa Statgraphics Centurion 18, versión 18.1.13 (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Reología**

Mediante un ensayo oscilatorio en reómetro, se determinaron los parámetros que caracterizan la capacidad de fluencia de las masas. Estos parámetros permiten predecir el comportamiento de las masas cuando se imprimen, así como compararlos con otros biomateriales. Los parámetros se han registrado en la tabla 1.

Se observa que todas las masas presentan un elevado módulo elástico ( $G'$ ) semejante al módulo complejo ( $G^*$ ). Estos resultados y que la  $\tan \delta$  sea  $< 1$  indican que el comportamiento de las masas es predominantemente elástico. La muestra que incorpora escaramujo se diferencia del resto siendo esta más elástica, es decir, es más resistente a la deformación. Esta resistencia aumentada puede estar relacionada con el incremento en fibra (Gamonpilas et al., 2021) al incorporar escaramujo. La incorporación de escaramujo con maltodextrina inhibe la modificación de las características reológicas por parte del escaramujo.

**TABLA 1.** Parámetros reológicos de las masas panarias (B: Control, E: escaramujo, EM. escaramujo maltodextrina)

Masa	$G^*$ (Pa)	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	Tan $\delta$ (°)	$\eta^*$ (mPa s)
B	1444(65) <sup>a</sup>	1408(64) <sup>a</sup>	324(14) <sup>a</sup>	0,2300(0,0003) <sup>a</sup>	230(10) <sup>a</sup>
E	1690(90) <sup>b</sup>	1639(88) <sup>b</sup>	410(19) <sup>b</sup>	0,2499(0,0018) <sup>c</sup>	269(14) <sup>b</sup>
EM	1450(95) <sup>a</sup>	1409(92) <sup>a</sup>	339(21) <sup>a</sup>	0,2408(0,0011) <sup>b</sup>	231(15) <sup>a</sup>

Las letras (a-c) que se expresan en los resultados indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

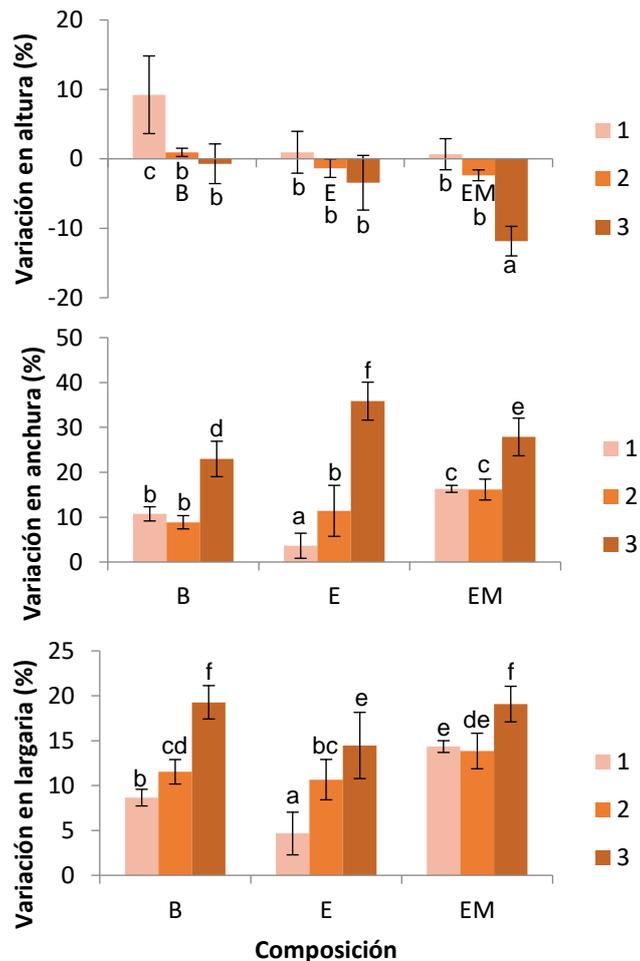
### Análisis de imagen

Para conocer la precisión de la impresora 3D y la aptitud de las masas para mantener la forma deseada se realizó un análisis de imagen. De las muestras ya impresas como se observa en la figura 2 se toman las medidas de altura, anchura y largaria como se mostró en la figura 1.



**FIGURA 2.** Muestra recién impresa de escaramujo 2 cm de alto.

En la figura 3. se muestra la desviación de las proporciones (%) de las muestras respecto a las proporciones dadas (7 cm largo, 3 cm ancho y 1, 2 o 3 cm de alto). Con mayores diferencias en altura se presenta la muestra de 3 cm con escaramujo y maltodextrina, seguida por la de 1cm control. Las que menos mantienen la forma en anchura son las de 3 cm, entre ellas la que menos es la masa que incorpora escaramujo. En cuanto al largo, las muestras que más desviación presentan recién impresas son las de 3cm, destaca las control y escaramujo con maltodextrina. Se observa que las muestras con mayores desviaciones son las de 3 cm, por lo que podría fijarse como altura límite.

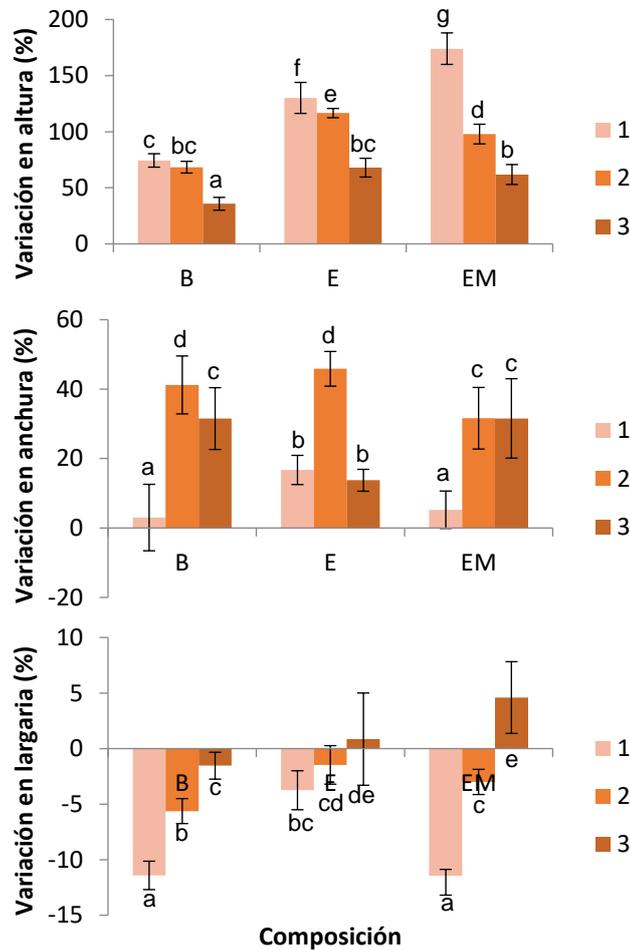


**FIGURA 3.** Desviaciones de las proporciones de las muestras recién impresas (B: control; E: escaramujo; EM: escaramujo maltodextrina; 1, 2, 3 cm altura muestra). Las letras (a-f) indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

Tras la impresión de las muestras y toma de imágenes para su análisis, estas se hornearon, como se describe anteriormente. Es importante la toma de imágenes y posterior análisis tras el horneado. Estas imágenes pueden determinar el efecto de las distintas composiciones en los parámetros de expansión de las muestras.

En la figura 4 se muestra la desviación de las proporciones de las muestras una vez horneadas respecto a las que tenían recién impresas. Las muestras que más desviación presentan en altura son las de 1 cm con escaramujo y maltodextrina y sin maltodextrina. Las que menos las de 3 cm siendo la control la de menor valor. En cuanto a la anchura, las que más diferencias presentan son las de 2 cm, siendo la de escaramujo y control las mayores. En contraparte, la que presenta menor desviación es la de 1 cm control. Las que más se desvían son las de 3 cm control y escaramujo con maltodextrina. Se puede observar que de 1 cm con escaramujo presenta menos diferencias lo que podría deberse a un efecto del escaramujo libre para mantener la forma impresa inicial. Por último, en la proporción del largo, las muestras de 1 cm control y con escaramujo y maltodextrina presentan

mayor modificación. En estas muestras la deformación es negativa ya que para aumentar el tamaño en altura los panes se retraían por los extremos.



**FIGURA 4.** Desviaciones de las proporciones de las muestras tras horneado (B: control; E: escaramujo; EM: escaramujo maltodextrina; 1, 2, 3 cm altura muestra). Las letras (a-g) indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

### Análisis fisicoquímicos

El estudio de los análisis fisicoquímicos permite en muchos casos conocer de qué forma altera la incorporación de nuevos ingredientes el aspecto y/o comportamiento del producto. En la tabla 2 se presentan los resultados del pH, actividad del agua (aw) y humedad de las masas (solo pH) y las 9 muestras distintas.

La incorporación de escaramujo a las muestras disminuye el pH. Esta bajada de pH se debe a la incorporación de ácidos, mayoritariamente ácido ascórbico (Patel, 2017), provenientes del escaramujo. Además, se puede observar que el escaramujo encapsulado tiene un efecto menor en la reducción del pH. En cuanto a la actividad de agua de las muestras, no se ha visto un claro efecto al incorporar escaramujo a las muestras. El contenido en agua de las muestras es mayor en aquellas que presentan

escaramujo y escaramujo con maltodextrina. Este aumento en la humedad de las muestra se puede deber a la capacidad de retención de agua que pueden presentar las fibras de los frutos (Gamonpilas et al., 2021). No se observan efectos en las muestras debidas a la altura de las mismas.

**TABLA 2.** Parámetros fisicoquímicos de las masas y panes (B: control; E: escaramujo; EM; escaramujo maltodextrina; 1, 2 ,3 cm altura; M: masa)

Muestra	pH	aw	Humedad (g/100g muestra)
1B	-	0,8850(0,0017) <sup>a</sup>	26,6(0,7) <sup>a</sup>
1E	4,95(0,06) <sup>a</sup>	0,906(0,002) <sup>b</sup>	35,434(0,014) <sup>c</sup>
1EM	5,28(0) <sup>d</sup>	0,924(0,003) <sup>e</sup>	39,6(0,4) <sup>e</sup>
2B	-	0,918(0,0012) <sup>de</sup>	31,6(0,4) <sup>b</sup>
2E	5,02(0) <sup>b</sup>	0,919(0,007) <sup>de</sup>	40,4(0,2) <sup>e</sup>
2EM	5,123(0,015) <sup>c</sup>	0,908(0,012) <sup>bc</sup>	38,0(0,8) <sup>d</sup>
3B	5,847(0,006) <sup>g</sup>	0,913(0,009) <sup>bcd</sup>	36,1(0,9) <sup>c</sup>
3E	4,97(0) <sup>a</sup>	0,918(0,003) <sup>cde</sup>	40,5(0,8) <sup>e</sup>
3EM	5,313(0,006) <sup>e</sup>	0,926(0,007) <sup>e</sup>	39,78(0,04) <sup>e</sup>
MB	6,913(0,006) <sup>i</sup>	-	-
ME	5,717(0,006) <sup>f</sup>	-	-
MEM	6,387(0,006) <sup>h</sup>	-	-

Las letras (a-i) que se expresan en los resultados indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

### Análisis color

Otro de los aspectos evaluados en el presente estudio fue el color. El color es un atributo que puede ser determinante para la aceptabilidad del consumidor. Se analizó el efecto de la incorporación del escaramujo en las masas y en la muestras horneadas tanto en la corteza como en la miga. En la Tabla 3 se recogen los valores de los distintos parámetros que definen el color de las masas.

**TABLA 3.** Parámetros colorimétricos de las masas para un iluminante D65 y un ángulo de observador de 10° (B: control; E: escaramujo; EM: escaramujo maltodextrina)

Muestra	L*	a*	b*	h	C	$\Delta E$
MB	81,221 (0,019) <sup>c</sup>	-1,7(0,2) <sup>a</sup>	9(0,2) <sup>a</sup>	100,5(0,3) <sup>c</sup>	9(0) <sup>a</sup>	-
ME	64,1(0,3) <sup>a</sup>	14,1(0,4) <sup>c</sup>	29,2(0,4) <sup>c</sup>	64,2(0,3) <sup>a</sup>	32,4(0,6) <sup>c</sup>	30,8(0,6) <sup>b</sup>
MEM	66,6(0,2) <sup>b</sup>	10,6(0,3) <sup>b</sup>	24,7(0,3) <sup>b</sup>	66,7(0,5) <sup>b</sup>	26,9(0,3) <sup>b</sup>	24,7(0,3) <sup>a</sup>

Las letras (a-c) que se expresan en los resultados indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

En cuanto a las masas de las que provienen las muestras, se observa que la masa control presenta alta luminosidad y valores de coordenadas muy bajas, dando como resultado una muestra acromática blanca. Entre las muestras que incorporan escaramujo se puede diferenciar que la que presenta el escaramujo protegido con maltodextrina tiene valores más céntricos en el espacio CIELab, pero mayor luminosidad. La incorporación de maltodextrina emblanquece el color dando un color naranja menos saturado respecto a la masa de escaramujo. Ambas muestras presentan diferencias apreciables respecto al control.

En la tabla 4 se recogen los resultados de color de las cortezas de las distintas muestras. Dado el color natural del preparado panario, blanco, se ha observado que el escaramujo reduce la luminosidad, pero no significativamente. Al ser el escaramujo rico en carotenoides (Andersson et al., 2011), las muestras que lo incorporan presentan valores de coordenada  $a^*$  más altos que los demás. Aquellas que además contienen maltodextrina tienen valores intermedios entre el control y las de escaramujo debido a la tonalidad blanco-marrón propia de la maltodextrina. En todos los casos la adición de compuestos proporciona diferencias visualmente apreciables respecto a la muestra control.

**Tabla 4.** Parámetros colorimétricos de las cortezas de las muestras para un iluminante D65 y observador 10° (C: corteza; B: control; E: escaramujo; EM: escaramujo maltodextrina)

Muestra	L*	a*	b*	h	C	$\Delta E$
C1B	59(8) <sup>cd</sup>	7,1(1,8) <sup>b</sup>	25(6) <sup>cd</sup>	73(7) <sup>d</sup>	26(5) <sup>bc</sup>	-
C1E	60(7) <sup>cd</sup>	7,7(0,8) <sup>bc</sup>	24(2) <sup>cd</sup>	72(3) <sup>d</sup>	25,5(1,9) <sup>bc</sup>	11(6) <sup>a</sup>
C1EM	65(5) <sup>d</sup>	5,3(1,4) <sup>a</sup>	20(3) <sup>abc</sup>	75(4) <sup>d</sup>	21(3) <sup>ab</sup>	11(8) <sup>a</sup>
C2B	64(3) <sup>d</sup>	7,4(0,8) <sup>bc</sup>	28(2) <sup>d</sup>	75,3(1,6) <sup>d</sup>	29(2) <sup>c</sup>	-
C2E	47(8) <sup>ab</sup>	10,4(1,5) <sup>e</sup>	17(8) <sup>ab</sup>	55(12) <sup>ab</sup>	20(7) <sup>ab</sup>	21(10) <sup>b</sup>
C2EM	54(7) <sup>bc</sup>	8,6(1,5) <sup>cd</sup>	22(5) <sup>bcd</sup>	68(4) <sup>cd</sup>	24(5) <sup>abc</sup>	13(8) <sup>a</sup>
C3B	62(5) <sup>d</sup>	6,9(1,2) <sup>b</sup>	27(4) <sup>d</sup>	75(3) <sup>d</sup>	28(4) <sup>c</sup>	-
C3E	46(9) <sup>a</sup>	10(2) <sup>de</sup>	15(10) <sup>a</sup>	48(9) <sup>a</sup>	19(9) <sup>a</sup>	21(10) <sup>b</sup>
C3EM	50(10) <sup>ab</sup>	8,8(1,6) <sup>cd</sup>	19(9) <sup>abc</sup>	59(19) <sup>bc</sup>	22(8) <sup>ab</sup>	16(14) <sup>ab</sup>

Las letras (a-e) que se expresan en los resultados indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

En la tabla 5 se recogen los valores obtenidos para el color de las migas de los panes. En la parte interna de las muestras se observa que las muestras control son las que presentan colores más luminosos. Estas muestras tienen una tonalidad amarillenta clara. En aquellas que se incorpora escaramujo los valores determinan que el color es un poco menos luminoso y de tonalidad anaranjada. En ambos casos de incorporación de escaramujo se puede apreciar las diferencias de color a simple vista.

**TABLA 5.** Parámetros colorimétricos de las migas de las muestras para un iluminante D65 y un ángulo de observador de 10° (Mi: miga; B: control; E: escaramujo; EM: escaramujo maltodextrina)

Muestra	L*	a*	b*	h	C	ΔE
Mi1B	50(4) <sup>b</sup>	1,4(0,9) <sup>a</sup>	7,5(0,9) <sup>a</sup>	79(7) <sup>d</sup>	7,7(0,9) <sup>a</sup>	-
Mi1E	47(1,3) <sup>a</sup>	12,4(1,2) <sup>e</sup>	23,1(1,6) <sup>d</sup>	61,8(1,3) <sup>c</sup>	26,3(1,8) <sup>e</sup>	20(2) <sup>e</sup>
Mi1EM	45(5) <sup>a</sup>	8,1(0,7) <sup>b</sup>	14(3) <sup>b</sup>	59(5) <sup>bc</sup>	16(2) <sup>b</sup>	12(3) <sup>a</sup>
Mi2B	56(3) <sup>c</sup>	0,6(0,9) <sup>a</sup>	9(2) <sup>a</sup>	86(4) <sup>e</sup>	9(2) <sup>a</sup>	-
Mi2E	44(3) <sup>a</sup>	11,7(1,2) <sup>e</sup>	17(4) <sup>c</sup>	54(4) <sup>a</sup>	20(3) <sup>c</sup>	18(3) <sup>de</sup>
Mi2EM	47(3) <sup>a</sup>	9(1,2) <sup>bc</sup>	15(3) <sup>bc</sup>	59(2) <sup>bc</sup>	18(4) <sup>bc</sup>	15(3) <sup>bc</sup>
Mi3B	55,0(0,8) <sup>c</sup>	1(2) <sup>a</sup>	9(4) <sup>a</sup>	85(6) <sup>e</sup>	9(4) <sup>a</sup>	-
Mi3E	44,1(1,5) <sup>a</sup>	10,3(1,5) <sup>d</sup>	16(2) <sup>bc</sup>	57(3) <sup>ab</sup>	19(3) <sup>c</sup>	17(3) <sup>cd</sup>
Mi3EM	47(2) <sup>a</sup>	9,6(0,8) <sup>cd</sup>	16(2) <sup>bc</sup>	59(2) <sup>bc</sup>	18(2) <sup>bc</sup>	14(3) <sup>ab</sup>

Las letras (a-e) que se expresan en los resultados indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

### Textura

En la panificación, uno de los aspectos más relevantes en el desarrollo de estos productos es la textura. Para evaluar la textura de las muestras horneadas, con y sin adición de escaramujo, se realizó un ensayo TPA en la miga y un ensayo de punción en la corteza.

En la tabla 6. se presentan los distintos parámetros del ensayo TPA así como la fuerza máxima obtenida en el ensayo de punción para las distintas muestras. Analizando parámetro a parámetro se observa que la miga que mayor fuerza necesita para la deformación es la correspondiente a la muestra de 3 cm control, a pesar de que no es significativamente diferente de la muestra 2 cm control. La adhesividad de las muestras es despreciable. La cohesión de las muestras es elevada, en algunos casos se alcanza el 87% de deformación para que ocasione la rotura de la miga. Se observa que las que más cohesión presentan son aquellas que incorporan escaramujo con maltodextrina y escaramujo. La adición de escaramujo en general confiere al producto mayor resistencia a la rotura.

En cuanto a la elasticidad de las masas, en general se observa que la mayoría de las muestras recuperan casi totalmente su estado inicial, las muestras son muy elásticas. La que menos elasticidad presenta es la de 1 cm control. En la masticabilidad, la muestra de 3cm con escaramujo y control son las que más habría que masticar para poder deglutir. Cabe decir que no se diferencian significativamente de la muestra de 3 cm con escaramujo y maltodextrina y de 2cm control. Por último, la resiliencia, el parámetro que hace referencia a cómo la muestra se recupera de la deformación en términos de tiempo y fuerza. Se observa que las muestras que menos tardan en recuperar su estado inicial son aquellas que incorporan escaramujo, tanto encapsulado como sin encapsular.

Con el ensayo de punción se muestra la fuerza que hay que ejercer para penetrar la corteza de las muestras. La muestra que más fuerza requiere es la de 1 cm control. A esta la siguen la de 2 cm control y 3 cm control y escaramujo con maltodextrina.

En los parámetros de textura cabe decir que se pronuncia más un efecto de altura que un efecto de las diferentes composiciones de las muestras. En el caso de los efectos observados en la composición se podría deber a la presencia de vitamina C del escaramujo (Patel, 2017).

**TABLA 3.** Parámetros del ensayo TPA y punción de la corteza (B: control; E: escaramujo; EM: escaramujo maltodextrina; 1, 2, 3 cm altura muestra).

Muestra	TPA						Punción F máx.
	Dureza	Adhesividad	Cohesión	Elasticidad	Masticabilidad	Resiliencia	
1B	66(12) <sup>ab</sup>	-0,9(0,9) <sup>a</sup>	0,59(0,06) <sup>a</sup>	0,65(0,12) <sup>a</sup>	26(9) <sup>a</sup>	0,32(0,04) <sup>a</sup>	402(62) <sup>f</sup>
1E	43,6(1,2) <sup>a</sup>	-6(5) <sup>a</sup>	0,73(0,16) <sup>bc</sup>	0,92(0,05) <sup>bc</sup>	29(8) <sup>a</sup>	0,38(0,06) <sup>b</sup>	303(133) <sup>e</sup>
1EM	122(21) <sup>abc</sup>	-1,2(1,8) <sup>a</sup>	0,84(0,03) <sup>d</sup>	0,924(0,014) <sup>c</sup>	94(17) <sup>bc</sup>	0,525(0,009) <sup>c</sup>	248(57) <sup>de</sup>
2B	223(26) <sup>de</sup>	-10(19) <sup>a</sup>	0,69(0,06) <sup>ab</sup>	0,88(0,03) <sup>bc</sup>	136(24) <sup>cd</sup>	0,36(0,04) <sup>ab</sup>	247(62) <sup>de</sup>
2E	135(31) <sup>bc</sup>	-3,8(2,9) <sup>a</sup>	0,82(0,04) <sup>cd</sup>	0,93(0,02) <sup>c</sup>	103(23) <sup>bc</sup>	0,49(0,04) <sup>c</sup>	226(80) <sup>cd</sup>
2EM	95(12) <sup>ab</sup>	0(0) <sup>a</sup>	0,818(0,019) <sup>cd</sup>	0,93(0,04) <sup>c</sup>	72(11) <sup>b</sup>	0,5(0,02) <sup>c</sup>	180(76) <sup>bc</sup>
3B	277(92) <sup>e</sup>	-2(2) <sup>a</sup>	0,71(0,04) <sup>b</sup>	0,85(0,04) <sup>b</sup>	163(39) <sup>d</sup>	0,38(0,04) <sup>b</sup>	160(21) <sup>b</sup>
3E	190(66) <sup>cd</sup>	-0,6(0,9) <sup>a</sup>	0,84(0,03) <sup>cd</sup>	0,959(0,003) <sup>c</sup>	153(58) <sup>d</sup>	0,508(0,013) <sup>c</sup>	119(36) <sup>ab</sup>
3EM	141(14) <sup>bcd</sup>	-2,3(3,2) <sup>a</sup>	0,88(0,03) <sup>d</sup>	0,9555(0,0009) <sup>c</sup>	118(8) <sup>bcd</sup>	0,5427(0,0002) <sup>c</sup>	76(18) <sup>a</sup>

Las letras (a-f) que se expresan en los resultados indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

## Determinación compuestos bioactivos

A los compuestos bioactivos se le atribuyen numerosas funciones beneficiosas para el organismo, como es el caso de los carotenoides que presenta actividad antioxidante (Medveckienè et al., 2020). En este estudio se ha llevado a cabo la evaluación de los fenoles totales, actividad antioxidante y carotenoides totales tanto de las masas como de las muestras horneadas. Este análisis puede esclarecer la mejora del producto a nivel funcional, así como observar el efecto del horneado sobre estos compuestos.

En la tabla 7 se muestran los resultados de los análisis de bioactivos para cada muestra. Las muestras que mayor concentración de bioactivos presentan son aquellas que incorporan el escaramujo sin encapsular. La maltodextrina engloba el escaramujo para protegerlo frente a degradaciones externas como puede ser el proceso de horneado. Cabe decir que al incorporar el mismo peso de escaramujo encapsulado y sin encapsular, el encapsulado presentará menor concentración de bioactivos que sin encapsular debido a la parte de maltodextrina. Se podría esperar que el escaramujo con maltodextrina presentara mayor concentración de bioactivos al degradarse menos que los respectivos en el escaramujo libre. Pero también es cierto que los valores de las muestras en algunos casos son mayores que los respectivos de las masas sin hornear, por lo que no se puede observar el efecto del horneado y protección por parte de la maltodextrina.

**TABLA 4.** Contenido en bioactivos de las distintos panes y masas (B: control; E: escaramujo; EM escaramujo maltodextrina; M: masa; 1, 2 ,3 cm altura pan).

Muestra	FT	AOA	CT
1B	19,6(0,7) <sup>b</sup>	43,6(1,6) <sup>bcd</sup>	0,23(0,03) <sup>b</sup>
1E	30,0(0,4) <sup>c</sup>	68,48(0,99) <sup>f</sup>	5,164(0,012) <sup>g</sup>
1EM	29,2(1,6) <sup>c</sup>	47,7(1,6) <sup>d</sup>	3,154(0,012) <sup>e</sup>
2B	17,0(0,8) <sup>b</sup>	39,6(0,2) <sup>b</sup>	0,218(0,015) <sup>b</sup>
2E	45,7(1,3) <sup>ef</sup>	66,7(1,9) <sup>f</sup>	4,634(0,008) <sup>f</sup>
2EM	44,6(0,6) <sup>e</sup>	46(3) <sup>cd</sup>	2,82(0,02) <sup>c</sup>
3B	17,3(0,3) <sup>b</sup>	42,3(1,2) <sup>bc</sup>	0,245(0,007) <sup>b</sup>
3E	48,3(1,6) <sup>f</sup>	67,5(0,6) <sup>f</sup>	4,596(0,012) <sup>f</sup>
3EM	44(3) <sup>e</sup>	43(5) <sup>bc</sup>	2,90(0,05) <sup>d</sup>
MB	11,1(0,4) <sup>a</sup>	30,6(1,9) <sup>a</sup>	0,131(0,012) <sup>a</sup>
ME	59,9(1,7) <sup>g</sup>	56(2) <sup>e</sup>	6,34(0,04) <sup>h</sup>
MEM	33,214(0,019) <sup>d</sup>	39,5(0,8) <sup>b</sup>	3,10(0,03) <sup>e</sup>

Las letras (a-h) que se expresan en los resultados indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

## Composición centesimal

En todo desarrollo de producto es importante conocer la composición del producto, ya sea para comprender el comportamiento/expresión del producto y/o para evaluar su valor nutricional. Con este análisis se puede observar si la incorporación de escaramujo mejora el producto favoreciendo a la población celíaca. En la tabla 8 se presentan los datos nutricionales (Hidratos de carbono, fibra, lípidos, proteína y cenizas) de cada muestra.

**TABLA 5.** Composición centesimal de las diferentes muestras de pan (B: control; E: escaramujo; EM: escaramujo maltodextrina; 1, 2, 3 cm altura).

Muestras	Carbohidratos	Fibra	Grasa	Proteína	Cenizas
1B	61(2) <sup>d</sup>	4,9(1,2) <sup>b</sup>	3,66(0,03) <sup>f</sup>	0,74(0,06) <sup>c</sup>	2,94(0,12) <sup>bc</sup>
1E	42,98(0,19) <sup>a</sup>	14,5(0,3) <sup>e</sup>	3,5(0,2) <sup>ef</sup>	0,72(0,07) <sup>c</sup>	2,89(0,12) <sup>b</sup>
1EM	48,6(1,8) <sup>b</sup>	5,4(1,2) <sup>b</sup>	3,31(0,16) <sup>e</sup>	0,58(0,05) <sup>ab</sup>	2,51(0,07) <sup>a</sup>
2B	54,9(1,3) <sup>c</sup>	7,9(0,6) <sup>c</sup>	2,54(0,12) <sup>cd</sup>	0,57(0,04) <sup>ab</sup>	2,48(0,12) <sup>a</sup>
2E	41,1(0,6) <sup>a</sup>	12,88(0,12) <sup>e</sup>	2,42(0,05) <sup>c</sup>	0,61(0,06) <sup>b</sup>	2,63(0,18) <sup>a</sup>
2EM	53,75(0,06) <sup>c</sup>	2,3(0,6) <sup>a</sup>	2,74(0,03) <sup>d</sup>	0,551(0,007) <sup>ab</sup>	2,67(0,12) <sup>a</sup>
3B	54(2) <sup>c</sup>	3,8(1,2) <sup>ab</sup>	1,94(0,15) <sup>ab</sup>	0,50(0,04) <sup>a</sup>	3,156(0,009) <sup>c</sup>
3E	43,0(1,2) <sup>a</sup>	10,4(0,2) <sup>d</sup>	2,12(0,04) <sup>b</sup>	0,590(0,004) <sup>ab</sup>	3,499(0,006) <sup>d</sup>
3EM	49,9(0,6) <sup>b</sup>	4,3(0,6) <sup>b</sup>	1,71(0,05) <sup>a</sup>	0,55(0,04) <sup>ab</sup>	3,788(0,008) <sup>e</sup>

Las letras (a-f) que se expresan en los resultados indican los grupos homogéneos según ANOVA ( $p < 0,05$ )

Se puede observar que las muestras con mayor contenido en carbohidratos son las control seguidas de las muestras con escaramujo y maltodextrina. Dentro de los carbohidratos, las que mayor fibra presentan son las de escaramujo libre. En cuanto al contenido en grasa, las muestras no presentan diferencias significativas por concentración, pero sí que se percibe un efecto de altura. Cuanto más alta es la muestra menor es el contenido en grasa. La proteína presente en las muestras es similar en todas ellas, no se observa efectos. Por último, las cenizas destacan en las muestras con 3 cm de altura, siendo el mayor valor en el escaramujo con maltodextrina.

## CONCLUSIONES

Con este estudio se ha conseguido caracterizar tres masas de distinta composición (control, escaramujo y escaramujo con maltodextrina). Con el conocimiento de la reología se puede extrapolar los resultados a otros biomateriales imprimibles.

Por otra parte, se ha estudiado la incorporación del escaramujo, encapsulado y sin encapsular, a un preparado de pan sin gluten. El escaramujo incrementa notoriamente el valor nutricional del producto aportando principalmente fibra a la dieta de los celíacos, además de compuestos bioactivos.

Se ha observado un mayor efecto de altura en las propiedades de las muestras más que un efecto de la composición. Existe un efecto de composición en las propiedades colorimétricas, pH y aumento de la humedad de las muestras debido a la aportación de carotenoides y ácido ascórbico en estas dos primeras.

## REFERENCIAS

- Andersson, S.; Rumpunen, K.; Johansson, E.; Olsson, M.E. (2011). Carotenoid content and composition in rose hips (*Rosa* spp.) during ripening, determination of suitable maturity marker and implications for health promoting food products. *Food Chemistry*, 128: 689-696. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.088>
- AOAC Association of Official Analytical Chemist. 2000a. Volume I, Agricultural Chemicals, Contaminants, Drugs; Horwitz, W., Ed.; AOAC: Rockville, MD, USA.
- AOAC. 2000b. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Gaithersburg MD: AOAC International.
- AOAC. 2002. AOAC Official Method 990.03. Protein (Crude) in Animal Feed, Combustion Method, 18th ed.; Horwitz W., Latimer G.W. Jr, Eds; Gaithersburg, MD, USA.
- Caporizzi, R; Derossi, A; Severini, C. 2019. Cereal-Based and Insect-Enriched Printable Food: From Formulation to Postprocessing Treatment. Status and Perspectives. En: *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications*. El Sevier. Capítulo 4: 93-116.
- De la Calle, I.; Ros, G.; Peñalver, R.; Nieto, G. 2020. Enfermedad celiaca: causas, patología y valoración nutricional de la dieta sin gluten. Revisión. *Nutrición Hospitalaria*. 37 (5): 1043-1051. DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/hh.02913>.
- Derossi, A.; Caporizzi, R.; Oral, M.O.; Severini, C. 2020. Analyzing the effects of 3D printing process per se on the microstructure and mechanical properties of cereal food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 66.
- Gamonpilas, C.; Buathongjan, C.; Kirdsawasd, T.; Rattanaprasert, M.; Klomtun, M.; Phonsatta, N.; Methacanon, P. 2021. Pomelo pectin and fiber: Some perspectives and applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, 120.
- García-Segovia, P.; Igual, M.; Martínez-Monzó, J. 2021. Beetroot Microencapsulation with Pea Protein Using Spray Drying: Physicochemical, Structural and Functional Properties. *Appl. Sci.*, 11, 6658. <https://doi.org/10.3390/app11146658>
- Godoi, F.C.; Bhandari, B.R.; Prakash, S.; Zhang, M. 2019. An introduction to the Principles of 3D Food Printing. En: *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications*. El Sevier. Chapter 1: 1-18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814564-7.00001-8>
- Habibur, J. M.; Islam, MD N.; Ahmed, K.; Khosla, A.; Kawakami, M.; Furukawa, H. 2020. Rheological and mechanical properties of edible gel materials for 3D food printing technology. *Heliyon*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05859>
- Igual, M.; Cebadera, L.; Cámara, R.M.; Agudelo, C.; Martínez-Navarrete, N.; Cámara, M. 2019. Novel Ingredients Based on Grapefruit Freeze-Dried Formulations: Nutritional and Bioactive Value. *Foods* 8, 506. Doi: 10.3390/foods8100506
- Jagadiswarn, B.; Alagarasan, V.; Palanivelu, P.; Theagarajan, R.; Moses, J.A.; Anandharamakrishnan, C. 2021. Valorization of food industry waste and by-products using 3D printing: A study on the development of value-added functional cookies. *Future Foods*, 4.
- Jeoin, W.Y.; Yu, J.Y.; Kim, H.W.; Park, H. J. 2021. Production of customized food through the insertion of a formulated nanoemulsion using coaxial 3D food printing. *Journal of Food Engineering*, 311.
- Mariotti, F.; Tomé, D.; Mirand, P.P. 2008. Converting Nitrogen into Protein—Beyond 6.25 and Jones' Factors. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 48: 177–184, doi:10.1080/10408390701279749

- Medveckienė, B.; Kulaitienė, J.; Jarienė, E.; Vaitkevicienė, N.; Hallman, E. 2020. Carotenoids, Polyphenols, and Ascorbic Acid in Organic Rosehips (*Rosa* spp.) Cultivated in Lithuania. *Applied sciences*. (10) 5337. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/app10155337>
- Morris, D.L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent. *Science*, 2775 (107): 254-255.
- Ohemeng-Ntiamoah, J.; Datta, T. 2018. Evaluating analytical methods for the characterization of lipids, proteins and carbohydrates in organic substrates for anaerobic co-digestion. *Bioresource Technology*, 247: 697-704.
- Olives-Barba AI, Ca'mara-Hurtado M, Sa'nchez-Mata MC, Ruiz VF and De Tejada MLS. 2006. Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and b-carotene in vegetables. *Food Chemistry*, 95(2): 328-336.
- Patel, S. 2017. Rose hip as an underutilized functional food: Evidence-based review. Review. *Trends in Food Science & Technology*, 63: 29-38. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.001>
- Razungles, A.; Oszmianski, J.; Sapis, J.-C. 1989. Determination of carotenoids in fruits of *Rosa* sp. (*Rosa canina* and *Rosa rugosa*) and chokeberry (*Aronia melanocarpa*). *Journal of Food Science*, 54, (3): 774-775.
- Uribe-Wandurraga, Z.; Igual, M.; Reino-Moyón, J.; García-Segovia, P.; Martínez-Monzó, J. 2020. Effect of Microalgae (*Arthrospira platensis* and *Chlorella vulgaris*) Addition on 3D Printed Cookies. *Food Biophysics*. <https://doi.org/10.1007/s11483-020-09642-y>
- Valenzuela, B.; Valenzuela, R.; Sanhueza, J.; Morales, G. 2014. Functional foods, nutraceuticals and foshu: are we going to a novel food concept?. *Rev Chil Nutr Vol.*, 41 (2).
- Yashaswini, S.; Hegde, R.V.; Venugopal, C.K. 2011. Health and nutrition from ornamentals. Review. *IJRAP*, 2 (2): 375-382.