



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos
(FoodUPV)

Mejora tecnológica y nutricional de panes planos libres de
gluten mediante la incorporación de vegetales.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos

AUTOR/A: Martínez Vicente, Lorena

Tutor/a: Larrea Santos, Virginia

Cotutor/a externo: MOLINA ROSELL, MARIA CRISTINA

Director/a Experimental: SANTAMARIA ARNAL, MARIA

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

MEJORA TECNOLÓGICA Y NUTRICIONAL DE PANES PLANOS LIBRES DE GLUTEN MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE VEGETALES.

Lorena Martínez, Maria Santamaria, Cristina M. Rosell, Virginia Larrea

RESUMEN

Los panes planos son una antigua y ampliamente consumida variedad de pan compuesta tradicionalmente por harina, sal, agua y levadura. Sin embargo, la opción sin gluten todavía representa un desafío tanto tecnológico, debido a la ausencia de dicha proteína, como nutricional, ya que tienden a ser deficientes en proteínas, fibra dietética, vitaminas y minerales, pero ricos en grasas e hidratos de carbono. Los vegetales deshidratados tienen un elevado contenido de compuestos fenólicos, lo cual podría mejorar el perfil nutricional. Sin embargo, hay poca información sobre su uso como ingrediente y su impacto a nivel tecnológico y nutricional en productos alimentarios. El objetivo del estudio fue producir panes planos sin gluten que fueran tecnológicamente viables y nutricionalmente saludables, incorporando vegetales como alcachofa, tomate y limón en diferentes concentraciones (2%, 5% y 10%). Los resultados indicaron diferencias significativas en la composición nutricional de los vegetales, que a su vez influyeron en el comportamiento de la masa. Los panes planos libres de gluten mostraron diferencias en base al vegetal añadido y a su concentración. La alcachofa (5 % y 10%), el tomate (2% y 5%) y el limón redujeron la dureza de los panes frente al control. La diferencia de color incrementó a medida que se aumentó el porcentaje de los vegetales. La composición nutricional simulada obtenida presentó un aumento en el contenido de fibra dietética en los panes con alcachofa y limón. En conclusión, los vegetales pueden ser ingredientes alternativos saludables, sostenibles y naturales para la elaboración de productos de panadería innovadores. además, mejorar el sabor, textura o perfil nutricional de los panes planos libres de gluten.

Palabras clave: pan plano, vegetales, sin gluten, harina de maíz.

RESUM

L'objectiu de l'estudi va ser crear pans plans sense gluten que foren tecnològicament viables i nutricionalment saludables, incorporant vegetals com carxofa, tomaca i llima a diferents concentracions (2%, 5% i 10%). Es van observar diferències estadísticament significatives en la composició nutricional dels vegetals, que alhora van influir en el comportament de la massa. Els pans plans sense gluten van mostrar diferències sobre la base del

vegetal afegit i de la seva concentració. La carxofa (5% i 10%), el tomaca (2% i 5%) i la llima van reduir la duresa dels pans davant del control. La diferència de color va incrementar a mesura que es va augmentar el percentatge dels vegetals. La composició nutricional simulada obtinguda va presentar un augment en el contingut de fibra dietètica als pans amb carxofa i llima. En conclusió, els vegetals poden ser ingredients alternatius saludables, sostenibles i naturals per a l'elaboració de productes de forn innovadors. A més de millorar el sabor, textura o perfil nutricional dels pans plans lliures de gluten.

Paraules clau: pa pla, vegetals, sense gluten, farina de blat de moro

ABSTRACT

Flatbreads are an ancient and widely consumed variety of bread traditionally composed of flour, salt, water and yeast. However, the gluten free alternative is still a technological and nutritional challenge, as they tend to be deficient in protein, dietary fibre, vitamins and minerals, but rich in fat and carbohydrates. Dehydrated vegetables have a high content of phenolic compounds, which could improve the nutritional profile. However, there is little information on their use as a food ingredient and their technological and nutritional impact on food products.

The aim of the study was to create technologically viable and nutritionally healthy gluten-free flatbreads by incorporating vegetables such as artichoke, tomato and lemon in different concentrations (2%, 5% and 10%). Statistically significant differences were observed in the nutritional composition of the vegetables, which in turn influenced the behaviour of the dough. Gluten-free flatbreads showed differences based on the added vegetable and its concentration. Artichoke (5% and 10%), tomato (2% and 5%) and lemon reduced the hardness of the breads compared to the control. The difference in colour increased as the percentage of vegetables increased. The simulated nutritional composition obtained showed an increase in dietary fibre content in the breads with artichoke and lemon. In conclusion, vegetables can be healthy, sustainable and natural alternative ingredients for the elaboration of innovative bakery products. Furthermore, they can improve the taste, texture or nutritional profile of gluten-free flatbreads.

Keywords: flatbread, vegetables, gluten-free, corn flour.

INTRODUCCIÓN

El pan es un alimento básico y asequible, consumido en todo el mundo (Betoret & Rosell, 2020), siendo el pan plano uno de los productos panaderos más antiguos (Boukid, 2022). Los panes son relativamente finos, con un grosor que oscila entre unos milímetros y unos centímetros (Pasqualone et al., 2022). Nutricionalmente son una buena fuente de calorías y nutrientes, pudiendo incorporarse una gran cantidad de ingredientes fortificantes para aumentar su valor nutricional. La versatilidad de procesos de panificación e ingredientes permite que se pueda elaborar diferentes tipos de pan plano. Se pueden clasificar en dos categorías: doble capa (como el pan pita o el baladí) o una capa, que estos a su vez, pueden ser divididos en dos subgrupos: con levadura (como el lavash o el pide) y sin levadura (como el pan yufka o el paratha) (Kumar, 2016). Las masas para su elaboración a menudo se obtienen de cereales sin gluten como arroz, sorgo, teff, maíz o frijoles negros (Boukid, 2022), pero la utilización de harina de trigo blando representa un 67,4% (Pasqualone et al., 2022).

Las principales proteínas del trigo son las que conforman el gluten (gliadinas y gluteninas) (Johnson et al., 1990), el cual puede desencadenar una reacción inmunitaria denominada enfermedad celíaca (EC). La epidemiología de la EC tiene una prevalencia mundial estimada del 0,6 de la población general (Raiteri et al., 2022). A nivel tecnológico, en los panes a base de trigo, el gluten es responsables de establecer una red viscoelástica (Roman et al., 2019), que retiene el aire, y contiene a los gránulos de almidón y otros materiales, como el salvado. Es esencial que la red de proteínas se desarrolle bajo condiciones ideales para un desarrollo óptimo de la miga (Sciarini et al., 2016). Debido a la escasez de ingredientes alternativos que permitan desarrollar correctamente dicha red, la calidad tecnológica del pan sin gluten se ve mermada (Roman et al., 2019). Para paliar este problema se emplea hidrocoloides, los cuales pueden mimetizar en cierta medida las propiedades viscoelásticas del gluten. Entre los hidrocoloides más utilizados se encuentra la hidroxipropilmetilcelulosa, seguida de la goma xantana, el psyllium y la goma guar (Santamaria et al., 2023). Otra forma de atenuar las dificultades tecnológicas en los panes libres de gluten es emplear formulaciones complejas. Por ejemplo, mediante el uso de almidones debido a su solubilidad en agua caliente o fría, alta viscosidad o su capacidad espesante, ya que, en presencia de agua, actúa como plastificante. El almidón tiene la propiedad de gelatinizar cuando se alcanza una temperatura determinada (Román Rivas, 2018). La gelatinización hace que las moléculas de almidón sean más propensas a hincharse en contacto con el agua (Föste et al., 2020). El uso de estos almidones se basa en la elaboración de una pasta gelatinizada que después se utiliza en productos de panificación (Vargas, 2019). Así pues, la pregelatinización del almidón aumenta la cantidad de agua que puede retener la masa hasta el horneado, (Vargas, 2019). Otra estrategia en las formulaciones de panes sin gluten es la incorporación de

enzimas (Santamaria et al., 2023). Entre las utilizadas en panificación gluten free, se encuentran la transglutaminasa, glucosa oxidasa, y proteasas.

A los problemas tecnológicos, como una textura inadecuada y una corta vida útil, se suma que el pan sin gluten se caracteriza por su deficiente calidad nutricional a causa de un contenido bajo en minerales, vitaminas y fibra dietética, y una elevada cantidad de sal, grasas e hidratos de carbono disponibles (Aguiar et al., 2021). Una de las materias primas más utilizadas para la elaboración de productos sin gluten es el maíz (*Zea mays L.*), y puede ser fácilmente consumido por las personas celiacas. El uso de harina refinada de maíz para la elaboración de pan representó el 8,6% en el Mediterráneo (Pasqualone et al., 2022). Este ingrediente, es una fuente importante de hidratos de carbono y grasas, sin embargo, es pobre en aminoácidos esenciales (lisina y triptófano), ácidos grasos omega-3 y en minerales (hierro, fósforo y calcio) (Yilmaz & Koca, 2020). Una tendencia detectada a nivel global es el desarrollo de panes planos con un mayor valor añadido, es decir, más saludables, naturales, sostenibles y con sabores diversos. Una alternativa ha sido la incorporación de frutas y verduras en las formulaciones debido a su contenido en fibras, minerales, y otros compuestos (vitaminas, polifenoles, carotenoides y glucosinolatos) (Betoret & Rosell, 2020). Se han encontrado estudios en los que se utiliza los vegetales para mejorar las características nutricionales y tecnológicas del pan. Por ejemplo, Cui et al. (2022) utilizó remolacha roja en polvo para fortificar pan al vapor dado a que es una fuente rica en compuestos fenólicos. Aljahani, (2022) utilizó calabaza, dando como resultado una mejora en la capacidad de retención de agua de la harina de trigo y un aumento los compuestos antioxidantes. Además, el consumo de productos alimenticios enriquecidos con polifenoles no sólo aporta nutrientes, sino también propiedades bioactivas que confieren capacidad para inhibir o retrasar la aparición de enfermedades (Gómez-Romero et al., 2007).

Como se ha comentado anteriormente, los panes planos responden a la necesidad de aumentar la sostenibilidad del sistema alimentario debido a: (i) pueden obtenerse a partir de harinas distintas a la del trigo, así como de pseudocereales o legumbres, lo que permite utilizar producciones locales; (ii) requieren tiempos de cocción cortos, incluso en ocasiones no se utiliza horno (bajo cenizas calientes); (iii) pueden envolver alimentos o ser usado como cuchara, reduciendo el uso de vajilla y por tanto el consumo de agua; (iv) suponen un impacto energético reducido debido a su bajo volumen; (v) si se cuecen hasta secarse, tienen una vida útil bastante larga, reduciendo el desperdicio de pan (Pasqualone et al., 2022). Por todo ello, este estudio puede contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible 3 (Salud y bienestar, el cual pretende garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades), 12 (desarrollo sostenible, el cual pretende garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles) y 13 (acción por el clima, el cual pretende adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos). Así pues, el objetivo del presente trabajo consistió en la elección de vegetales con potencial capacidad antioxidante y valor nutricional, con el fin de utilizarlos en la formulación de panes planos fermentados sin

gluten elaborados a base de harina de maíz pregelatinizada a distintas concentraciones de vegetales deshidratados (2%, 5%, 10%), y posteriormente, analizar su influencia en el proceso de elaboración y en la calidad del producto final.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas y reactivos

Los vegetales en polvo utilizados fueron: espinacas, alcachofa, pak choi, kale y acelga (Agrosingularity S.L., Murcia, España); tomate, remolacha y zanahoria (Foodisimo S.A, Tarragona, España); cebolla y limón (Vegenat S.A., Badajoz, España). La harina de maíz se adquirió de Harinera la meta S.A. (Lleida, España). La enzima α -amilasa Fungamyl 2500 SG se obtuvo de la empresa Novozymes A/S (Bagsvaerd, Dinamarca). La levadura seca utilizada fue de Lesaffre Ibérica S.A. (Marcq-en-Barœul, Francia) y la sal se compró en un supermercado local. Los reactivos empleados fueron: carbonato sódico y metanol (Panreac, Barcelona, España); Folin-Ciocalteu phenol reagent y ácido gálico (Sigma-Aldrich, San Luis, MO).

Caracterización materias primas

Análisis polifenoles totales de los vegetales deshidratados

El contenido de polifenoles totales (PT) se llevó a cabo según el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, descrito por Singleton & Rossi (1965) con algunas modificaciones. El método se basa en la reacción entre el reactivo Folin-Ciocalteu con los fenolatos, estos se reducen dando lugar al azul de molibdeno-tungsteno (Nayak et al., 2011), medidos espectrofotométricamente a 765 nm. Se extrajeron los polifenoles con metanol. Al extracto se le añadió el Folin-Ciocalteu y el carbonato sódico. Tras 30 minutos se leyó la absorbancia con un espectrofotómetro de sobremesa (PharmaSpec UVmini-1240, Shimadzu Scientific Instruments, Inc., Kyoto, Japón). Se utilizó ácido gálico como estándar y metanol como blanco. El contenido de PT se cuantificó a partir de una curva estándar de ácido gálico desarrollada a partir de 0-0,1 mg de ácido gálico por mL. Los valores de PT se dieron como mg de ácido gálico/g muestra. El análisis se realizó por triplicado.

Composición nutricional

La composición nutricional de las materias primas se analizó mediante los siguientes métodos estándar (ISO): humedad (712:2009), cenizas (2171:2007) proteínas (6634-2:2016), y grasa total (1185:2015). Para el contenido de fibra dietética, se utilizó el método internacional AACC (32-07).

Pregelatinización harina de maíz

En la **FIGURA 1** se presenta el método de pregelatinización de la harina de maíz. Primero se calentó 1200 g de agua a 75 °C con un robot de cocina (Mambo 10070, Cecotec Innovaciones S.L. Valencia, España). Una vez alcanzada la temperatura se añadió 600 g de harina de maíz sin pregelatinizar y se programó el mezclado a 75 °C durante 3 minutos a velocidad 2 (340 W). Se homogeneizó manualmente. Se realizó un segundo mezclado a velocidad 2 y temperatura 75 °C durante 2 minutos. Posteriormente se secó la muestra a 40°C en un deshidratador (Sedona Supreme SDC-S101. Anaheim, USA) optimizando el tiempo de secado para alcanzar una humedad final óptima para su molturación (12,51%), siendo 4 horas el tiempo final utilizado. Una vez obtenida la muestra deshidratada se trituró con una trituradora (Fitzmill modelo D, comminuting machine, The Fitzpatrick Company. Chicago, USA) con un tamiz de 2 mm de diámetro. De este modo se obtuvo harina de maíz pregelatinizada con una humedad del 12,5%.

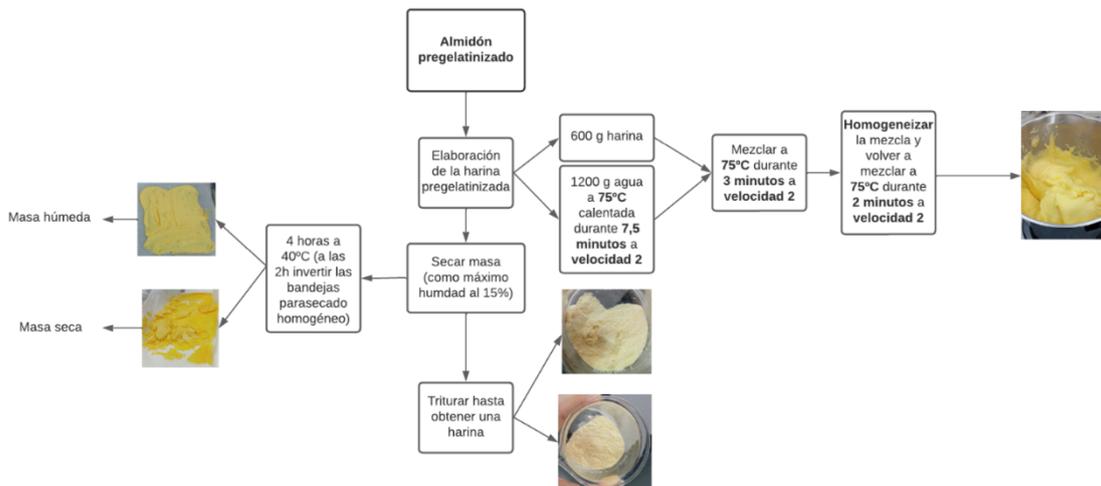


Figura 1 Proceso pregelatinización harina de maíz

Analizador de viscosidad rápida (RVA)

La viscosidad aparente de harina de maíz, tanto pregelatinizada como sin tratar se determinó utilizando un analizador de viscosidad rápida (RVA 4500, Perten Instrument, Sydney, NSW, Australia). Para ello se mezcló 3,50 g de muestra con 25 mL de agua en canister y se analizaron utilizando el standard 1 mediante los siguientes perfiles de temperatura: equilibrio a 50 °C durante 1 minuto, luego la temperatura aumentó hasta 95 °C durante un período de 3 minutos 42 segundos y manteniendo a 95 °C durante 2 minutos y 30 segundos, seguido de un período de enfriamiento de 3 minutos y 48 minutos a 50 °C, y manteniendo a dicha temperatura durante 2 minutos (Balet et al., 2019). El parámetro obtenido se definió como caída de pico (cP), el cual representa la diferencia entre los picos de viscosidad máxima (cP).

Cálculo de la hidratación óptima para cada una de las formulaciones propuesta y estudio del efecto en las características de la masa

El comportamiento de amasado de la mezcla de harina de maíz pregelatinizada con el agua y los vegetales se estudió utilizando el Mixolab (Chopin, Tripette et Renaud, París, Francia), que permite amasar la mezcla a temperatura controlada. Mide en tiempo real el par de torsión “torque” (expresado en Nm) producido por el paso de la masa entre los dos brazos amasadores, permitiendo así el estudio del comportamiento físico de la masa. Se colocaron 50 g de harina de maíz pregelatinizada en el recipiente Mixolab y se mezclaron con las combinaciones de los diferentes vegetales seleccionados a distintas concentraciones (2%, 5%, 10%). El contenido de agua se ajustó en todas las muestras para alcanzar una consistencia óptima (1,1 Nm). Los parámetros obtenidos fueron: absorción de agua (%) requerido para que la masa alcance un torque de 1,1 Nm y que se corresponde con la hidratación utilizada a posteriori en las formulaciones de pan plano sin gluten, determinado por la consistencia máxima en Nm (C_{max}); estabilidad (minutos) o tiempo transcurrido en el que el par producido se mantiene en 1,1 Nm (Aprodu & Banu, 2015b); grado de ablandamiento (Nm) indica el grado de resistencia al daño de la masa, es decir, la capacidad de resistir la agitación mecánica, está representado por el torque tras pasado 12 minutos desde el torque C_{max} (Llempen, 2020).

Elaboración del pan plano sin gluten con vegetales

Las cantidades de ingrediente utilizados para cada formulación se plasman en la **TABLA 1**. Para la formulación del pan plano libre de gluten se emplearon los datos de absorbancia obtenidos en el equipo Mixolab®. La enzima (α -amilasa) se disolvió con el agua, posteriormente se adicionó la harina y la levadura, tras haber homogeneizado previamente dicha mezcla. El amasado se realizó con un agitador de hélice IKA EUROSTAR 40 digital (Deutschland, Alemania). La primera etapa se llevó a cabo durante 3 minutos a 500 rpm. Una vez transcurrido dicho tiempo se adicionó la sal y se volvió a amasar durante 5 minutos a 600 rpm. La masa se dejó en reposo durante 15 minutos en la cámara de fermentación a 32 °C y con una humedad del 70 %. A continuación, se dividió la masa en porciones de 90 g y se laminó hasta obtener un pan plano con un grosor de 6 mm. Los panes se fermentaron durante 1 hora a 32 °C y con una humedad del 70%, y se hornearon a 200 °C durante 8 minutos pulverizando previamente con agua para evitar su agrietado.

TABLA 1: Proporción de ingredientes para cada formulación en base panadera (%)

Ingredientes (g)	C	A2	A5	A10	T2	T5	T10	L2	L5	L10
Harina pregelatinizada maíz	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sal	1,50	1,53	1,58	1,67	1,53	1,58	1,67	1,53	1,58	1,67
Levadura seca	1,00	1,02	1,05	1,11	1,02	1,05	1,11	1,02	1,05	1,11

Agua	72,32	85,13	96,83	102,38	82,44	80,66	86,43	84,15	89,94	103,57
Vegetales	0,00	2,04	5,26	11,11	2,04	5,26	11,11	2,04	5,26	11,11
Alfa-amilasa	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Propiedades tecno-funcionales de los panes planos

Para la determinación de la calidad tecnológica del pan se produjeron dos tandas de cada una de las formulaciones de pan, en distintos días, y se evaluó en fresco: la pérdida de peso durante la cocción, humedad, captura de imagen, textura y color. Se calculó la pérdida de peso en la cocción, definida como la cantidad de agua y materia orgánica perdida durante la cocción. Se determinó la diferencia entre el peso de la masa antes de hornear y el peso final del pan, después de hornear y enfriar, dividido por el peso inicial de la masa expresado en porcentaje (Martins et al., 2022). La humedad de los panes se analizó según la norma UNE-EN ISO 712 modificado en 2 etapas, debido al alto contenido en humedad (mayor al 16%). Para ello se eliminó parte del agua del pan cortado a trozos pequeños el pan y dejándolos encima de una estufa, tras pasada 24 h se determinó la humedad del pan seco mediante una balanza de infrarrojos. La digitalización de cada pan experimental se realizó con un escáner de superficie Scanner Perfection V600 (Epson, Suwa, Japón). Estos análisis se realizaron por triplicado en cada uno de los casos.

El análisis del perfil de textura (TPA) de los panes se determinó mediante un analizador de textura TA-XTplus (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido) equipado con una célula de carga de 30 kg. Para el análisis se troquelaron porciones del pan con un diámetro de 1,5 cm. Las muestras se colocaron en el centro de la placa y se sometieron a una prueba de doble compresión mediante una sonda cilíndrica P/25 de aluminio. Las muestras se sometieron a un 25% de deformación, a una velocidad de 1 mm/s, con un retraso de 30 segundos entre la primera y la segunda compresión. Los parámetros obtenidos fueron: la dureza (N), la masticabilidad (N), la cohesión, la elasticidad y la capacidad recuperación instantánea, que se calcularon a partir del gráfico TPA. Se hizo un total de 25 determinaciones. Este análisis proporcionó información sobre cómo se comportan las muestras cuando se mastican (González et al., 2019).

El color se midió utilizando un colorímetro (Konika Minolta Sensing, INC., Osaka, Japón) de los panes tanto por la parte superior como por la inferior. Los resultados se expresaron en el espacio de color CIE- $L^* a^* b^*$, y se calculó la diferencia total de color (ΔE) de cada formulación respecto al control, mediante la ecuación (1). Las determinaciones de color se analizaron en distintos panes y dentro de cada pan en dos puntos por la cara de arriba y otras tantas por la de abajo.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

donde: L^* = luminosidad, a^* = tono en un eje de verde (-) a rojo (+) b^* = tono en un eje de azul (-) a amarillo (+).

Estimación simulada de la composición nutricional de los panes sin gluten con vegetales

Se conocía previamente la composición nutricional de las materias primas y las formulaciones utilizadas, por lo que se decidió estimar la composición nutricional de los panes mediante el software Nutrium (Healthcare Software Solutions, S.A., Maximinos, Braga).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y análisis de múltiples variables utilizando el software Statgraphics Centurion XVII (Statpoint Technologies, Warrenton, VA, EE. UU.). También se hizo análisis de componentes principales (PCA), mediante la herramienta OriginPro 2022b 9.9.5.167 (OriginLab Corporation, Northampton, EE. UU). Los resultados se presentaron como valores medios con su respectiva desviación estándar, y se utilizó la prueba de Fischer con un nivel de confianza del 95% para analizar la significación entre los valores medios ($p\text{-valor} < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Polifenoles totales en extractos vegetales

El contenido de PT depende del método de ensayo aplicado, incluido el tipo de extracción, y puede expresarse de diversas formas (Ziobro et al., 2022). El vegetal que mostró una mayor cantidad de polifenoles fue el limón, seguido de la alcachofa y la remolacha, mientras que el vegetal con menor concentración fue la cebolla, seguida de la acelga y el pak choi (**TABLA 2**). Sin embargo, los vegetales escogidos para elaborar del pan plano sin gluten fueron la alcachofa y el limón por su concentración en polifenoles, y el tomate por tratarse de un ingrediente más conocido y aceptado para productos de panificación.

TABLA 2. Análisis de polifenoles totales

Vegetal	g AG/ g muestra seca
Acelga	6,11 ± 0,63 ^e
Alcachofa	12,51 ± 0,79 ^b
Cebolla	2,37 ± 0,11 ^f
Espinaca	7,96 ± 1,51 ^d
Kale	6,66 ± 0,12 ^e
Limón	18,30 ± 0,75 ^a
Pak choi	6,73 ± 0,60 ^e

Remolacha	11,29 ± 0,66 ^c
Tomate	6,65 ± 0,36 ^e
Zanahoria	8,31 ± 1,37 ^d

AG = ácido gálico. Las letras diferentes en la columna indican diferencias significativas al 95% de confianza entre los distintos vegetales ($p < 0,05$).

Colantuono et al. (2018) reportaron datos de concentración de polifenoles en la remolacha de 8,8; 21,6 y 34,7 mg GAE/g muestra seca en la inflorescencia inmadura (capítulo o cabeza), las hojas y el tronco, respectivamente. Mientras que Cui et al. (2022) cuantificaron 698 mg GAE/100 g de masa seca en la remolacha pura. Makowska et al. (2017) observaron que el kale contenía una concentración de polifenoles de 1,4 mg GAE/ g de masa seca, Las diferencias entre los valores reportados pudo deberse a la variedad, diferencias genéticas o al método de extracción (Cui et al., 2022).

Composición nutricional de las materias primas

Se caracterizó la composición química aproximada de los vegetales escogidos (alcachofa, tomate y limón) y la harina de maíz sin pregelatinizar, (TABLA 3). La humedad de las muestras viene determinada por el proceso de obtención de estas, siendo alcachofa y limón las que obtuvieron menores humedades, seguidas de la harina de tomate y la de maíz. Probablemente el menor contenido de la alcachofa y el limón pudo ser debido a la influencia del método de secado de los vegetales (López-Hortas et al., 2022). Asimismo, el tomate mostró un mayor contenido en cenizas. Sin embargo, el contenido proteico fue similar entre el tomate y la alcachofa. Por último, la alcachofa obtuvo un mayor contenido en grasas y fibra.

TABLA 3. Composición nutricional de las materias primas

Materias primas	Humedad bs (g/100g)	Cenizas bs (g/100g)	Proteínas bs (g/100g)	Grasas bs (g/100g)	Fibra total bs (g/100g)	Fibra insoluble bs (g/100g)
HM	14,6 ± 0,0 ^a	0,4 ± 0,0 ^d	1,0 ± 0,0 ^c	1,8 ± 0,1 ^c	2,4 ± 0,0 ^d	1,9 ± 0,0 ^c
A	8,4 ± 0,0 ^c	4,5 ± 0,1 ^b	2,1 ± 0,0 ^a	2,9 ± 0,0 ^a	63,3 ± 0,2 ^a	46,8 ± 0,3 ^a
T	13,6 ± 0,1 ^b	7,0 ± 0,2 ^a	2,2 ± 0,0 ^b	0,5 ± 0,0 ^d	9,3 ± 0,0 ^c	7,8 ± 0,9 ^c
L	4,6 ± 0,0 ^d	3,6 ± 0,1 ^c	1,8 ± 0,6 ^a	2,3 ± 0,0 ^b	39,7 ± 2,6 ^b	18,3 ± 2,8 ^b

HM=harina de maíz sin pregelatinizar; A= alcachofa; T= tomate; L=limón bs=base seca

*Los valores medios con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Analizador de viscosidad rápida (RVA)

Para evitar el uso de ingredientes miméticos del gluten como los hidrocoloides y otros coadyudantes y con el fin de obtener panes planos fermentados sin gluten y de etiqueta limpia, se trató la harina de maíz para modificar sus propiedades y que esta pudiera dotar de la estructura necesaria

durante el proceso. Como se ha comentado, la pregelatinización modifica las propiedades de la harina y por ello se decidió estudiar los perfiles de viscosidad comparando la harina tratada y sin tratar, representado en la **FIGURA 2**, mediante el RVA, lo que permite conocer la cantidad de almidón pregelatinizado presente en dichas muestras. El RVA permite registrar los puntos de transición física mediante el registro de la viscosidad aparente.

Como era de esperar, tras la pregelatinización de la harina hubo una reducción del 82% del pico de viscosidad de la harina pregelatinizada frente a la harina gelatinizada. Corroborando que el tratamiento empleado para tratar la harina consiguió la pregelatinización del almidón, ya que la viscosidad máxima se obtiene cuando la mayoría de los gránulos de almidón gelatinizan, es decir, cuando se hincha el almidón debido a su calentamiento en presencia de agua, y la amilosa se filtra desde los gránulos dando como resultado una pasta viscosa (Balet et al., 2019).

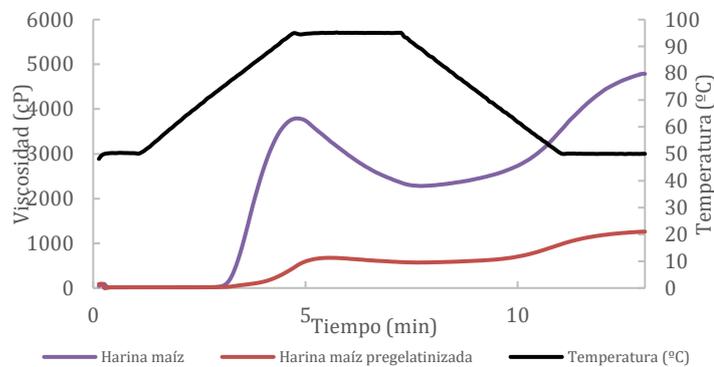


Figura 2: Perfiles de viscosidad harinas de maíz en el RVA

Caracterización de las mezclas sin gluten con el Mixolab

Las características de la masa panaria, como su estabilidad y/o elasticidad, son críticas en la panificación, ya que afectan directamente a la textura, volumen y calidad final del pan. Para medir las propiedades reológicas de las masas se utilizó el Mixolab® (Chopin, Villeneuve la Garenne, Francia), registrando el comportamiento durante el amasado a una temperatura constante de 30°C. (Morreale et al., 2018). En la **FIGURA 3** se observa la diferencia que existe entre los parámetros reológicos de la masa control respecto de la masa en presencia de los distintos vegetales y a las diferentes concentraciones. En el caso de la incorporación de vegetales, la masa presentó una clara diferencia en la hidratación frente a la muestra control. Las masas que incluían limón (5% y 10%) y tomate requirieron un tiempo significativamente mayor para alcanzar una homogeneización completa, lo que implicó una prolongación en el proceso de amasado. Los parámetros obtenidos en el Mixolab® presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al tipo de vegetal adicionado, sin embargo, el

porcentaje del vegetal no mostró dichas diferencias (**TABLA 4**). La incorporación de alcachofa mostró diferencias estadísticamente significativas en la absorción de agua, presentando valores superiores frente al tomate y el limón, así como un mayor grado de ablandamiento (A10). Mientras que la estabilidad (5 y 10%) fue menor. Según Valerga et al. (2019), la estabilidad de la masa está relacionada con su fuerza, valores bajos de este parámetro se relacionan con una masa más débil y con menor tolerancia al amasado.

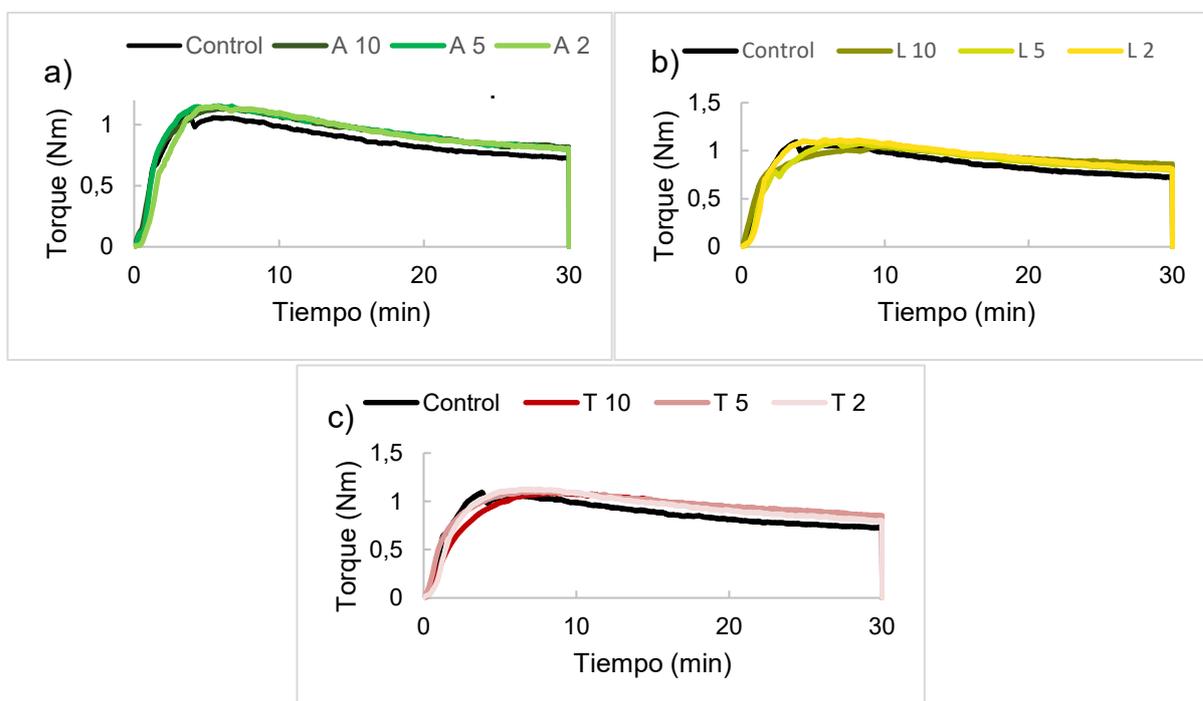


Figura 3 Mixogramas obtenidos para cada una de las masas con distintos contenidos de vegetal a) alcachofa b) tomate y c) limón. A mayor intensidad de color indica mayor porcentaje de vegetal añadido (2, 5 y 10 %)

TABLA 4. Parámetros de las mezclas harina:vegetal en el Mixolab

Muestra	Absorción de agua (%)	Estabilidad (min)	Grado de ablandamiento (Nm)
C	71 ± 0 ^e	6,69 ± 2,66 ^{bcd}	0,240 ± 0,042 ^{ab}
A2	72 ± 0 ^d	8,03 ± 1,21 ^{bcd}	0,245 ± 0,021 ^{ab}
A5	79 ± 0 ^b	5,15 ± 0,42 ^{cd}	0,250 ± 0,057 ^b
A10	79 ± 0 ^a	4,78 ± 5,59 ^d	0,345 ± 0,177 ^a
T2	69 ± 0 ^g	9,60 ± 0,45 ^{abc}	0,200 ± 0,014 ^b
T5	66 ± 0 ⁱ	12,68 ± 0,74 ^a	0,140 ± 0,014 ^{ab}
T10	67 ± 0 ^h	12,24 ± 0,29 ^a	0,167 ± 0,006 ^b
L2	70 ± 0 ^f	10,50 ± 0,67 ^{ab}	0,185 ± 0,021 ^b
L5	73 ± 0 ^c	9,41 ± 0,08 ^{abc}	0,170 ± 0,028 ^b
L10	67 ± 0 ^h	13,92 ± 1,20 ^a	0,215 ± 0,106 ^{ab}

<i>p</i>-valor			
Vegetal	0,0007	0,0017	0,0112
Cantidad	0,4645	0,5958	0,3867

C= pan control; A2 = pan con 2 % de alcachofa; A5 = pan con 5 % de alcachofa; A10 = pan con 10 % de alcachofa; T2 = pan con 2 % de tomate; T5 = pan con 5 % de tomate; t10 = pan con 10 % de tomate; L2 = pan con 2 % de limón; L5 = pan con 5 % de limón; L10 = pan con 10 % de limón.

Los valores medios con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Canale et al. (2022) observó que las fibras alteran la matriz de almidón afectando negativamente al desarrollo de la masa. Dicho efecto se pudo identificar con la alcachofa cuando se adicionó a altas concentraciones ($>2\%$), disminuyendo la estabilidad de la masa. Se observó un incremento general en la altura del pico después de la adición de harinas de alcachofa debido a la mayor absorción de agua inducida por las fibras (**FIGURA 3**). Esto se relacionó con el contenido de fibra que obtuvo la alcachofa frente al tomate y al limón (**TABLA 3**), lo que también podría estar afectando a que tenga mayor absorción que el resto de los vegetales.

Propiedades tecnológicas y nutricionales de los panes planos

Los panes planos sin gluten elaborados mostraron diferencias entre sus propiedades tecnológicas y nutricionales. Los parámetros que presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) según el tipo de vegetal adicionado, pero no en base a la cantidad de vegetal agregado, fueron el contenido de humedad y las propiedades de textura (dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y capacidad de recuperación instantánea) (**TABLA 5A**). Sin embargo, como se puede observar en la **TABLA 5B**, los parámetros de color mostraron diferencias estadísticamente significativas según el tipo de vegetal adicionado y su concentración.

La pérdida por cocción está afectada por la morfología de la miga, ya que influye principalmente sobre el transporte de agua (Krupa-Kozak et al., 2012). Como se puede observar en la **TABLA 5A**, la adición de vegetales no afectó a la pérdida por cocción del pan, así como tampoco el porcentaje de vegetal añadido, lo que puede ser debido a que la miga era muy compacta, ya que se elaboraron panes planos sin gluten de una capa, como muestra la **FIGURA 4**. Sin embargo, se puede observar una influencia importante sobre la humedad del pan. Estos resultados se relacionaron con el porcentaje de absorción obtenido en el Mixolab® (**TABLA 4**). En el caso del pan con un 10% de alcachofa, la humedad fue mayor, pero la masa presentó una mayor absorción de agua; mientras que la formulación con un 5% de tomate presentó una menor humedad del pan asociada a una menor absorción de agua en la masa (**TABLA 4**).

La adición de vegetal afectó significativamente ($p < 0,05$) en los parámetros de textura (**TABLA 5A**), como fueron: dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y capacidad recuperación instantánea. Generalmente, la

presencia de vegetales disminuyó la dureza de los panes, excepto en el pan de alcachofa al 2% y el tomate al 10%. El pan con menor dureza fue el compuesto por tomate al 2%, mientras que el más duro fue el que tenía un contenido del 2% de alcachofa. Por otro lado, el pan más elástico fue aquel que tenía un 10% de tomate, por lo que se pudo afirmar que tiene una mejor capacidad de recuperación tras la compresión (Martins et al., 2022). En cuanto a la cohesividad, parámetro definido por el grado en que un material puede deformarse, estos panes planos mostraron valores bajos a causa de su escasa estructura (González et al., 2019). La alcachofa 2% y el tomate 10% presentaron valores mayores, frente al pan con un 10% de alcachofa que fue el menos cohesivo. En cuanto a masticabilidad (relacionada con el tiempo necesario para masticar un trozo de pan antes de tragarlo), todas las muestras presentaron valores parecidos a los comentados previamente sobre la dureza. El pan compuesto por alcachofa al 2% mostró una mayor masticabilidad, lo que se asociaría con una mayor dificultad para romperse en la boca, (Bogdan et al., 2023). También, la adición de alcachofa disminuyó los valores de capacidad recuperación instantánea en comparación al resto de vegetales adicionados.

Tanto la incorporación vegetal como la variación en su cantidad mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en los parámetros L^* , a^* y b^* (**TABLA 5B**). Los valores obtenidos fueron similares entre la parte superior o inferior de los panes. A medida que aumentó el porcentaje de vegetal, el valor de L^* disminuía gradualmente, es decir, los panes eran más oscuros (**FIGURA 4**). Debido a las características de color de las materias primas, su adición modificó los parámetros a^* y b^* dependiendo de las características originales del vegetal. En cuanto al valor a^* , el pan de alcachofa obtuvo valores negativos, lo que implica que presentaba colores verdosos, viendo que el tono se hacía más notable conforme se fue añadiendo más cantidad de vegetal. Por otro lado, el tomate mostró valores de a^* positivos y altos, debido al color rojo del tomate en polvo. El parámetro b^* se analizó mejor en los panes control y con la adición de limón, debido a su color amarillo, corroborado por un alto valor de esta medida (Martins et al., 2022). En el caso del control, dicho color amarillento fue proporcionado por la harina de maíz. Al comparar la diferencia de color (ΔE^*) entre los panes con vegetales y el control, los resultados obtenidos fueron se muestran en la **TABLA 5B**. Se puede apreciar una mayor modificación de color respecto al control en la alcachofa, más concretamente la que contiene un 10% de vegetal, seguida del tomate y finalmente el limón. Probablemente debido a que el limón tiene tonalidades amarillentas más cercanas a las que presenta la harina de maíz. Estos valores se pueden apreciar en la **FIGURA 4**, donde generalmente, la diferencia de color incrementó a medida que aumentaba el porcentaje del vegetal adicionado. González et al. (2019) observó que el uso de diferentes materias primas puede originar cambios de color.

Tras el análisis de la composición nutricional de las materias primas y el proceso de panificación, se utilizó el software Nutrium para obtener la composición nutricional simulada de los panes planos con vegetales

obtenidos (**TABLA 6**). Radovanovic et al. (2014) estudió la composición nutricional de pan elaborado con un 25% de alcachofa y obtuvieron valores de: energía 22 Kcal/ 100g, 8,25% de proteínas, 47,64% de hidratos de carbono, 0,27%, de lípidos, y 6,15% de fibra alimentaria. Cabe destacar que, en los panes planos, la inclusión tanto de alcachofa como limón resultó en un aumento de fibra, respecto al control, teniendo una mención especial la formulación que contenía un 10% de alcachofa, ya que al contener más de 3 g por cada 100 g de pan se considera que es “fuente de fibra” según el Reglamento (CE) N° 1924/2006. Por otro lado, el tomate no supuso una gran mejora en cuanto a composición nutricional respecto al control (**TABLA 6**). Fue importante descartar la ausencia de azúcares y grasas saturadas en todas las formulaciones.

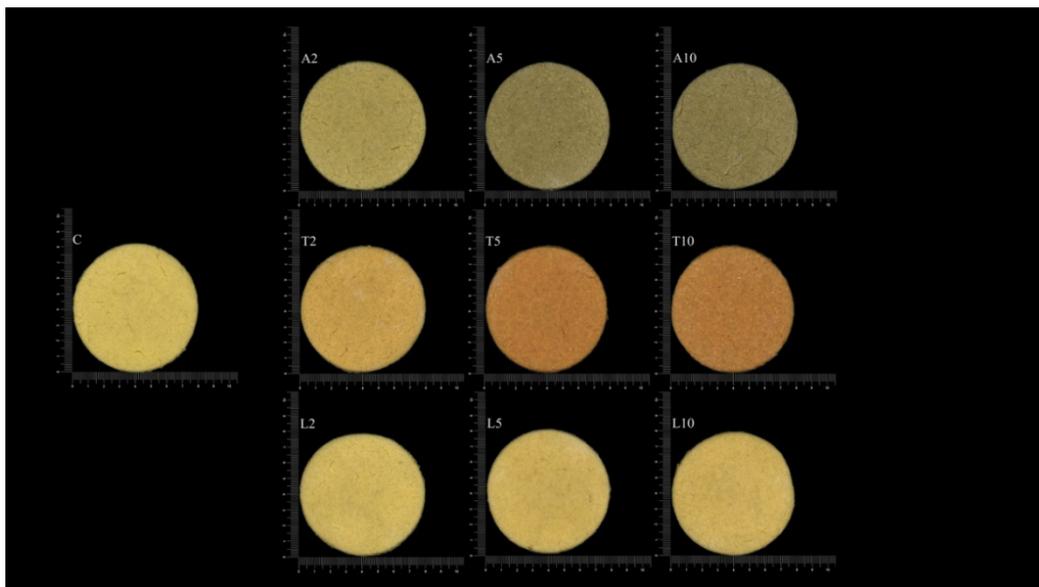


Figura 4 Fotografía de los distintos panes

C= pan control; A2 = pan con 2 % de alcachofa; A5 = pan con 5 % de alcachofa; A10 = pan con 10 % de alcachofa; T2 = pan con 2 % de tomate; T5 = pan con 5 % de tomate; t10 = pan con 10 % de tomate; L2 = pan con 2 % de limón; L5 = pan con 5 % de limón; L10 = pan con 10 % de limón

TABLA 5A. Propiedades tecnológicas (pérdida por cocción, humedad y textura) del pan plano sin gluten con vegetales

Muestra	Pérdida por cocción (%)	Humedad (%)	Dureza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad (N)	Capacidad de recuperación
C	17,26 ± 1,44 ^{ab}	39,04 ± 3,76 ^{cd}	9,7 ± 5,3 ^{bc}	0,829 ± 0,065 ^{abc}	0,809 ± 0,053 ^{bc}	6,57 ± 3,79 ^{bc}	0,464 ± 0,050 ^b
A2	15,74 ± 1,08 ^b	41,85 ± 0,66 ^{abc}	16,2 ± 3,7 ^a	0,843 ± 0,054 ^a	0,850 ± 0,014 ^a	11,67 ± 3,01 ^a	0,517 ± 0,018 ^a
A5	17,29 ± 1,64 ^a	41,28 ± 1,31 ^{abcd}	5,5 ± 2,8 ^d	0,764 ± 0,068 ^{de}	0,776 ± 0,042 ^d	3,31 ± 1,82 ^d	0,428 ± 0,037 ^{cd}
A10	19,16 ± 1,77 ^{ab}	42,77 ± 1,59 ^a	4,0 ± 2,4 ^{de}	0,741 ± 0,069 ^e	0,743 ± 0,058 ^e	2,21 ± 1,66 ^d	0,405 ± 0,043 ^d
T2	16,52 ± 9,22 ^{ab}	38,81 ± 1,50 ^{cd}	3,5 ± 1,8 ^e	0,806 ± 0,057 ^{bc}	0,783 ± 0,06 ^{cd}	2,35 ± 1,61 ^d	0,434 ± 0,040 ^c
T5	15,29 ± 4,68 ^b	38,45 ± 1,11 ^d	7,9 ± 3,0 ^c	0,831 ± 0,069 ^{ab}	0,836 ± 0,024 ^{ab}	5,48 ± 2,13 ^c	0,467 ± 0,023 ^b
T10	17,86 ± 1,31 ^{ab}	39,18 ± 0,43 ^{cd}	10,3 ± 4,4 ^b	0,857 ± 0,056 ^a	0,851 ± 0,017 ^a	7,58 ± 3,5 ^b	0,482 ± 0,020 ^b
L2	17,68 ± 3,92 ^{ab}	39,41 ± 0,91 ^{bcd}	4,0 ± 2,0 ^{de}	0,787 ± 0,071 ^{cd}	0,761 ± 0,045 ^{de}	2,44 ± 1,30 ^d	0,412 ± 0,041 ^{cd}
L5	17,87 ± 1,01 ^{ab}	40,04 ± 1,46 ^{abcd}	4,8 ± 2,2 ^{de}	0,791 ± 0,081 ^{cd}	0,783 ± 0,051 ^{cd}	2,91 ± 1,52 ^d	0,436 ± 0,044 ^c
L10	16,57 ± 3,36 ^{ab}	42,36 ± 4,42 ^{bc}	4,8 ± 2,3 ^{de}	0,791 ± 0,063 ^{cd}	0,780 ± 0,054 ^d	3,03 ± 1,61 ^d	0,431 ± 0,040 ^c
p-valor							
Vegetal	0,5575	0,0009	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0002
Cantidad	0,6426	0,0926	0,2793	0,4691	0,2876	0,1445	0,3659

C= pan control; A2 = pan con 2 % de alcachofa; A5 = pan con 5 % de alcachofa; A10 = pan con 10 % de alcachofa; T2 = pan con 2 % de tomate; T5 = pan con 5 % de tomate; t10 = pan con 10 % de tomate; L2 = pan con 2 % de limón; L5 = pan con 5 % de limón; L10 = pan con 10 % de limón

Los valores medios con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

TABLA 5B. Análisis de color del pan plano sin gluten con vegetales

Muestra	Color superficie superior					Color superficie inferior				
	L *	a*	b*	ΔE		L *	a*	b*	ΔE	
C	74,47 ± 1,13	-2,63 ± 0,20 ^g	46,88 ± 0,9 ^b	-	-	72,56 ± 1,34 ^a	-2,36 ± 0,28 ^g	43,37 ± 2,22 ^{bc}	-	-
A2	64,06 ± 1,89 ^e	-2,74 ± 0,15 ^g	39,74 ± 1,3 ^d	12,77 ± 1,95 ^d		61,48 ± 1,16 ^b	-2,67 ± 0,16 ^g	37,4 ± 1,76 ^e	12,84 ± 4,50 ^d	
A5	51,71 ± 0,77 ^g	-1,10 ± 0,15 ^e	31,25 ± 0,7 ^e	27,67 ± 1,30 ^b		50,64 ± 1,64 ^f	-1,26 ± 0,18 ^f	29,17 ± 1,30 ^f	26,34 ± 2,48 ^b	
A10	50,65 ± 1,43 ^h	-1,07 ± 0,14 ^e	30,44 ± 0,8 ^e	29,01 ± 1,92 ^a		49,17 ± 1,63 ^f	-1,11 ± 0,15 ^{ef}	28,46 ± 2,11 ^f	27,86 ± 2,89 ^a	
T2	68,01 ± 1,77 ^d	13,53 ± 0,35 ^c	48,16 ± 1,1 ^a	9,24 ± 1,28 ^e		65,52 ± 1,69 ^c	3,56 ± 0,47 ^c	43,94 ± 2,50 ^{bc}	9,92 ± 2,43 ^e	
T5	57,33 ± 1,24 ^f	13,85 ± 0,48 ^a	48,71 ± 1,1 ^a	23,92 ± 1,53 ^c		57,21 ± 2,26 ^e	13,14 ± 1,00 ^a	46,02 ± 3,87 ^a	22,53 ± 2,24 ^c	
T10	57,82 ± 0,72 ^f	13,08 ± 0,43 ^b	48,1 ± 1,5 ^a	23,4 ± 0,62 ^c		57,3 ± 2,08 ^e	12,42 ± 0,65 ^b	44,6 ± 2,32 ^{ab}	21,71 ± 3,32 ^c	
L2	72,27 ± 0,9 ^b	-1,84 ± 0,16 ^f	45,69 ± 1,3 ^c	3,25 ± 1,48 ^g		70,66 ± 3,10 ^b	-1,38 ± 0,47 ^f	40,5 ± 3,77 ^d	5,55 ± 3,15 ^f	
L5	71,31 ± 1,39 ^c	-1,26 ± 0,37 ^g	45,64 ± 1,4 ^c	4,14 ± 1,66 ^{fg}		70,02 ± 2,21 ^b	-0,81 ± 0,28 ^e	42,09 ± 3,45 ^{cd}	6,2 ± 3,06 ^f	
L10	70,89 ± 0,97 ^c	-0,50 ± 0,28 ^d	45,41 ± 1,3 ^c	4,78 ± 1,22 ^f		69,47 ± 1,46 ^b	-0,13 ± 0,27 ^d	43,16 ± 2,84 ^{bc}	5,33 ± 2,60 ^f	
p-valor										
Vegetal	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Cantidad	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0288	0,0000	

C= pan control; A2 = pan con 2 % de alcachofa; A5 = pan con 5 % de alcachofa; A10 = pan con 10 % de alcachofa; T2 = pan con 2 % de tomate; T5 = pan con 5 % de tomate; t10 = pan con 10 % de tomate; L2 = pan con 2 % de limón; L5 = pan con 5 % de limón; L10 = pan con 10 % de limón

Los valores medios con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

TABLA 6. Composición nutricional simulada de los panes planos con vegetales libres de gluten

Nutrientes	Valor por 100 g (base seca)									
	C	A 2	A 5	A 10	T 2	T 5	T 10	L 2	L 5	L 10
Energía (kcal)	250	234	223	222	237	242	239	236	231	221
Proteína (g)	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3
H. Carbono (g)	56	53	50	50	53	55	54	53	52	50
Azúcares (g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grasa (g)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Grasas saturadas (g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fibra alimentaria (g)	1	2	2	4	1	1	2	1	2	2
Sodio (mg)	334	314	300	300	318	326	34	315	310	299

C= pan control; A2 = pan con 2 % de alcachofa; A5 = pan con 5 % de alcachofa; A10 = pan con 10 % de alcachofa; T2 = pan con 2 % de tomate; T5 = pan con 5 % de tomate; t10 = pan con 10 % de tomate; L2 = pan con 2 % de limón; L5 = pan con 5 % de limón; L10 = pan con 10 % de limón

Análisis de componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA), el cual se encuentra plasmado en la **FIGURA 5**. Esto se llevó a cabo para identificar una posible discriminación entre muestras con diferentes concentraciones de los vegetales escogidos, en cuanto a las propiedades tecnológicas del pan. Los componentes lograron explicar el 74,95 % de la variabilidad de las muestras. El Componente 1 explicó el 49,95 % mientras que el Componente 2 describió el 25,37 % de la variación.

El gráfico reveló que las muestras se agruparon en función del tipo de vegetal utilizado en la formulación. En cambio, la concentración 2% de la alcachofa y del tomate se situaron más alejadas del resto de las concentraciones de su mismo vegetal. Los panes elaborados con limón se situaron agrupados y próximos a la muestra control. Por lo tanto, estos resultados indicaron que el porcentaje de tomate y alcachofa adicionado tenía un mayor impacto en las propiedades tecnológicas que la incorporación del limón.

El área positiva de PC1 se discriminó por los componentes de color del pan y los parámetros de textura, que estuvo influenciada principalmente por las muestras que contenían tomate a partir de un 5% de concentración y alcachofa al 2%. El área negativa del PC1 agrupó principalmente los panes con alcachofa y limón, los cuales tuvieron un mayor impacto en la luminosidad (L^*). Por otro lado, en el componente 2 (PC2), en el área positiva se agrupan

las muestras de tomate y alcachofa, los cuales están caracterizados por una gran diferencia de color con respecto al pan control, es decir, modificaron en gran medida el color de los panes. Cabe destacar, que la alcachofa y el tomate a partir de una concentración inferior al 2% difieren más respecto de aquellas que contienen concentraciones superiores.

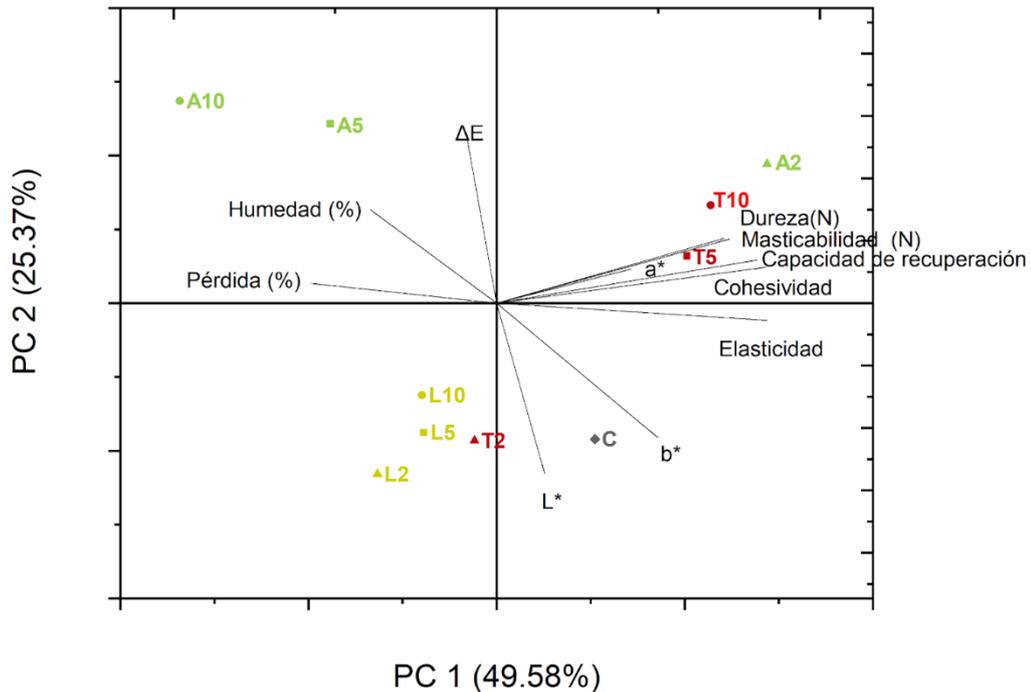


Figura 5 PCA de los resultados obtenidos en la caracterización de los panes

C: control; A2: 2 % de alcachofa; A5: 5 % de alcachofa; A10: 10 % de alcachofa; T2: 2 % de tomate; T5: 5 % de tomate; T10: 10 % de tomate; L2: 2 % de limón; L5: 5 % de limón; L10: 10 % de limón)

CONCLUSIONES

Los vegetales podrían ofrecer una opción para la innovación en la elaboración de productos de panadería, ya que son ingredientes naturales, saludables y sostenibles. El contenido de polifenoles totales fue mayor en el limón, alcachofa y remolacha, por ende, el tomate y la alcachofa mostraron un elevado contenido en fibra dietética. Asimismo, el contenido de fibra se relacionó con la cantidad de absorción de agua obtenida en el Mixolab®. Uno de los retos tecnológicos fue la elaboración de panes planos fermentados de una capa libres de gluten, sin adicionar ningún tipo de agente que simulara la funcionalidad del gluten. Los panes planos obtenidos presentaron buenas propiedades tecnológicas, como la disminución de la dureza, además de una buena apariencia en el producto final. Asimismo, la composición nutricional simulada mostró que los panes con vegetales (alcachofa y limón) aumentaron el contenido de fibra respecto al control, destacando el pan con un 10% de alcachofa ya obtuvo la declaración nutricional “fuente de fibra”.

Los resultados de este estudio permiten concluir que, la fabricación de panes planos fermentados sin gluten con vegetales pueden ser una alternativa para mejorar la calidad tecnológica y el perfil nutricional de los productos libres de gluten. Sin embargo, se requieren estudios adicionales que permitan analizar con mayor detalle la calidad nutricional y su impacto durante su digestión

REFERENCIAS

- Aguiar, E. V., Santos, F. C. A., Krupa-Kozak, U., & Capriles, V. D. (2021). *Nutritional facts regarding commercially available gluten-free bread worldwide: Recent advances and future challenges*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(5), 693-705. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1952403>
- Aljahani, A. H. (2022). *Wheat-yellow pumpkin composite flour: Physico-functional, rheological, antioxidant potential and quality properties of pan and flat bread*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5), 3432-3439. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.040>
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). *Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physicochemical Properties in Cereals: a Review*. *Food Analytical Methods*, 12(10), 2344–2360. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Betoret, E., & Rosell, C. M. (2020). *Enrichment of bread with fruits and vegetables: Trends and strategies to increase functionality*. *Cereal Chemistry*, 97(1), 9-19. <https://doi.org/10.1002/cche.10204>
- Bogdan, C., Hales, D., Cornilă, A., Casian, T., Iovanov, R., Tomuță, I., & Iurian, S. (2023). *Texture analysis—a versatile tool for pharmaceutical evaluation of solid oral dosage forms*. *International Journal of Pharmaceutics*, 122916.
- Boukid, F. (2022). *Flatbread—a canvas for innovation: A review*. *Applied Food Research*, 100071.
- Canale, M., Spina, A., Summo, C., Strano, M. C., Bizzini, M., Allegra, M., Sanfilippo, R., Amenta, M., & Pasqualone, A. (2022). *Waste from Artichoke Processing Industry: Reuse in Bread-Making and Evaluation of the Physico-Chemical Characteristics of the Final Product*. *Plants*, 11(24), 3409. <https://doi.org/10.3390/plants11243409>
- Colantuono, A., Ferracane, R., & Vitaglione, P. (2018). *Potential bioaccessibility and functionality of polyphenols and cynaropicrin from breads enriched with artichoke stem*. *Food Chemistry*, 245, 838-844.
- Cui, R., Fei, Y., & Fang, Y. (2022). *Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process*. *Food Chemistry*, 383, 132547. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132547>
- Föste, M., Verheyen, C., Jekle, M., & Becker, T. (2020). *Fibres of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies*. *Food Chemistry*, 306, 125451. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125451>
- Gómez-Romero, M. J., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2007). *Analytical determination of antioxidants in tomato: Typical components of the*

- Mediterranean diet. *Journal of Separation Science*, 30(4), 452-461. <https://doi.org/10.1002/jssc.200600400>
- González, C. M., Garzon, R., & Rosell, C. M. (2019). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 51, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.021>
- Johnson, R., LaBrooy, J. T., & Skerritt, J. H. (1990). Antibody responses reveal differences in oral tolerance to wheat and maize grain protein fractions. *Clinical and Experimental Immunology*, 79(1), 135–140. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2249.1990.tb05140.x>
- Krupa-Kozak, U., Altamirano-Fortoul, R., Wronkowska, M., & Rosell, C. M. (2012). Breadmaking performance and technological characteristic of gluten-free bread with inulin supplemented with calcium salts. *European Food Research and Technology*, 235, 545–554. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1782-z>
- Kumar, A. (2016). Chapatis and related products. In Elsevier eBooks (pp. 724–734). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00131-8>
- Llempen Cruzado, Y. E. (2020). Evaluación del comportamiento reológico de las mezclas de harinas: trigo (*triticum vulgare*), chía (*salvia hispánica*) y quinua (*chenopodium quinua willdenow*), para la utilización en productos de panificación. [Tesis ingeniero agroindustrial y comercio exterior, Universidad Señor de Sipán] <https://hdl.handle.net/20.500.12802/7329>
- López-Hortas, L., Caleja, C., Pinela, J., Petrović, J., Soković, M., Ferreira, I. C., Torres, M. D., Domínguez, H., Pereira, E., & Barros, L. (2022). Comparative evaluation of physicochemical profile and bioactive properties of red edible seaweed *Chondrus crispus* subjected to different drying methods. *Food Chemistry*, 383, 132450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132450>
- Makowska, A., Majcher, M., Mildner-Szkudlarz, S., Jędrusek-Golińska, A., & Przygoński, K. (2017). Triticale crisp bread enriched with selected bioactive additives: volatile profile, physical characteristics, sensory and nutritional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3092–3101. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2745-y>
- Martins, R. B., Garzon, R., Peres, J. A., Barros, A., Raymundo, A., & Rosell, C. M. (2022). Acorn flour and sourdough: an innovative combination to improve gluten free bread characteristics. *European Food Research and Technology*, 248(6), 1691–1702. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-03996-y>
- Morreale, F., Garzon, R., & Rosell, C. M. (2018). Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A study with hydroxypropylmethylcellulose. *Food Hydrocolloids*, 77, 629–635. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.004>
- Nayak, B., Berrios, J. D. J., Powers, J. R., & Tang, J. (2011). Effect of extrusion on the antioxidant capacity and color attributes of expanded extrudates prepared from purple potato and yellow pea flour mixes. *Journal of food science*, 76(6), C874-C883.
- Pasqualone, A., Vurro, F., Pasqualone, A., Abd-El-Khalek, M. H., Al-Dmoor, H. H., Grgic, T., Ruiz, M. Á. M., Magro, C., Deligeorgakis, C., Helou, C., & Le-Bail, P. (2022). The Large and Diverse Family of Mediterranean Flat Breads: A Database. *Foods*, 11(15), 2326. <https://doi.org/10.3390/foods11152326>

- Radovanovic, A., Milovanovic, O. Z., Kipic, M., Ninkovic, M. B., & Cupara, S. (2014). Characterization of Bread Enriched with Jerusalem Artichoke Powder Content. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(12), 895–898. <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-12-6>
- Raiteri, A., Granito, A., Giamperoli, A., Catenaro, T., Negrini, G., & Tovoli, F. (2022). Current guidelines for the management of celiac disease: A systematic review with comparative analysis. *World Journal of Gastroenterology*, 28(1), 154-176. <https://doi.org/10.3748/wjg.v28.i1.154>
- Roman, L., Belorio, M., & Gómez, M. (2019). Gluten-Free Breads: The Gap Between Research and Commercial Reality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(3), 690–702. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12437>
- Román Rivas, L. (2018). Role of starch gelatinization and fragmentation in extruded flour functionality [Doctorado en Ciencia e Ingeniería Agroalimentaria y de Biosistemas, Universidad de Valladolid] [10.35376/10324/32026](https://doi.org/10.35376/10324/32026)
- Santamaria, M., Garzon, R., & Rosell, C. M. (2023). Chapter: Gluten free bakery products. In *ICC Handbook of 21st Century Cereal Science and Technology*. G. Schleining, P. Shewry, H. Koksel, J. Taylor (Eds.), Elsevier, 1st Edition May 1, 2023.
- Sciarini, L. S., Steffolani, M. E., & León, A. E. (2016). El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *Agriscientia*, 33(2), 61–74. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v33.n2.17468>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Valerga, L., Quintero-Ruiz, N. A., Concellón, A., & Puppo, M. C. (2019). Technological and nutritional characterization of wheat breads added with eggplant flour: dependence on the level of flour and the size of fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 182–190. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04046-4>
- Vargas Alfaro, A. L. (2019). Efecto de la pregelatinización de las harinas de arroz pulido e integral pregelatinizado sobre las características sensoriales de una base para pizza congelada libre de gluten. [Trabajo final de grado Licenciatura en Ingeniería de alimentos, Universidad de Costa Rica] <https://hdl.handle.net/10669/86170>
- Yilmaz, V., & Koca, İ. (2020). Development of gluten-free corn bread enriched with anchovy flour using TOPSIS multi-criteria decision method. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100281. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100281>
- Ziobro, R., Ivanišová, E., Bojňanská, T., & Gumul, D. (2022). Retention of Antioxidants from Dried Carrot Pomace in Wheat Bread. *Applied Sciences*, 12(19), 9735. <https://doi.org/10.3390/app12199735>