



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Aprovechamiento de subproductos de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para la elaboración de harina aplicando diferentes condiciones térmicas

Utilization of persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) by-products for flour production applying different thermal conditions

Alariste-Pérez, I.^{a,b}, Contreras-Oliva, A.^{c*}, Salinas-Ruiz, J.^c, Herrera-Corredor, J.A.^c, Hidalgo-Contreras, J.V.^c, Rustrián-Portilla, E.^d, Rodríguez-Alcalá, O.^b

^a Colegio Interdisciplinario de Especialización (CIES). C. P. 94330, Orizaba, Veracruz.

^b Departamento de Procesos Alimentarios; Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz; Campus Cuitláhuac; C. P. 94910, Cuitláhuac, Veracruz.

^c Colegio de Postgraduados; Campus Córdoba; C. P. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz. *Autor de correspondencia. tel.: (+52) 271 716 6000, ORCID: 0000-0002-9686-7447.

^d Facultad de Ciencias Químicas; Universidad Veracruzana; C. P. 94349, Orizaba, Veracruz.

ismael.alariste@utcv.edu.mx; adricon@colpos.mx*; salinas@colpos.mx; jandreshe@colpos.mx;

jvhidalgo@colpos.mx; erustrian@uv.mx; olivia.rodriguez@utcv.edu.mx

Innovación tecnológica: Proceso para elaborar harina de subproductos de limón.

Área de aplicación industrial: Formulación de alimentos para consumo humano.

Recibido: 11 diciembre 2023

Aceptado: 21 mayo 2024

Abstract

It's important to revalue the by-products of Persian lime generated in the agro-industry because they do not meet the visual quality standards such as size, color, or appearance of the fruit. The main objective of this study was to evaluate the feasibility of using Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) by-products for the production of flours with potential applications in the food industry. Specifically, the optimal drying and thermal treatment conditions were determined to maximize the physicochemical and techno-functional properties of the obtained flours. A completely randomized design with sub-divided plots with a factorial arrangement was applied. The factors were: type of residue (bagasse and peel); thermal treatment (fresh and blanched); and drying temperature (70, 80, and 90 °C). The physicochemical and functional characterization of the flour was performed. Blanching significantly reduced acidity and increased pH in bagasse flours,

although it also decreased swelling capacity and caused darkening. On the other hand, peel flour showed lower water retention capacity and swelling capacity but higher luminosity compared to bagasse flours. Drying temperature also significantly influenced the properties of the flours; lower temperatures resulted in flours with higher luminosity and lower water activity compared to higher temperatures. Considering multiple relevant properties, the best treatments were CF80 (fresh peel and 80 °C) and BE70 (blanched bagasse and 70 °C), as these flours not only showed lower moisture and water activity but also good physicochemical and techno-functional properties. In general, the flours obtained showed good potential for use as partial substitutes for grain and cereal flours in various preparations.

Keywords: Codex Alimentarius, Food quality, Food wastes, Fruit size.

Resumen

Es importante revalorizar los subproductos de limón persa que se generan en la agroindustria debido a que no cumplen con los estándares de calidad visuales como tamaño, color o aspecto del fruto. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la viabilidad del aprovechamiento de subproductos de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para la producción de harinas con aplicaciones potenciales en la industria alimentaria. Específicamente, se determinaron las condiciones óptimas de secado y tratamiento térmico para maximizar las propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales de las harinas obtenidas. Se aplicó un diseño completamente al azar con parcelas subdivididas con un arreglo factorial. Los factores fueron: tipo de residuo (bagazo y cáscara); tratamiento térmico (fresco y escaldado) y temperatura de secado (70, 80 y 90 °C). Se realizó la caracterización fisicoquímica y funcional de la harina. El escaldado redujo significativamente la acidez y aumentó el pH en las harinas de bagazo, aunque también disminuyó la capacidad de hinchamiento y provocó un oscurecimiento. Por otro lado, la harina de cáscara mostró una menor capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento, pero una mayor luminosidad en comparación con las harinas de bagazo. La temperatura de secado también influyó significativamente en las propiedades de las harinas; temperaturas más bajas resultaron en harinas con mayor luminosidad y menor actividad de agua en comparación con temperaturas más altas. Considerando múltiples propiedades relevantes, los mejores tratamientos fueron CF80 (cáscara fresca y 80 °C) y BE70 (bagazo escaldado y 70 °C), ya que estas harinas presentaron no solo menor humedad y actividad de agua, sino también buenas propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales. En general, las harinas obtenidas mostraron un buen potencial para su uso como sustitutos parciales de harinas de granos y cereales en diversas preparaciones.

Palabras clave: Calidad de los alimentos, Codex Alimentarius, Desechos alimentarios, Tamaño de la fruta.

1. Introducción

Aproximadamente 1,300 millones de toneladas de alimentos se desperdician o se

pierden anualmente a nivel mundial, lo cual representa alrededor de un tercio de toda la producción de alimentos para consumo

humano. Las mayores pérdidas provienen de las cadenas de frutas y verduras; representando hasta el 50% de la producción y ocurren principalmente durante las etapas de procesamiento y postcosecha (1). La reutilización de subproductos agroindustriales es una estrategia clave en la bioeconomía circular, que busca reintegrar estos subproductos en la cadena de valor.

En la Unión Europea anualmente se descartan más de 50 millones de toneladas de frutas y hortalizas, fundamentalmente debido a que no alcanzan estándares de calidad externa vinculados con especificaciones de carácter estético exigidos por el comercio minorista y por los consumidores. Los determinantes de la pérdida y desperdicio de frutas y hortalizas son diversos e incluyen tanto directos como indirectos. Los directos se relacionan con los actores de la cadena agroalimentaria tales como decisiones productivas vinculadas a la selección de variedades de cultivo, la planeación de la cosecha o la gestión logística durante el almacenamiento y transporte. Por otro lado, los determinantes indirectos están relacionados con las características económicas, culturales y políticas del sistema alimentario, por ejemplo, la falta de infraestructura adecuada para el almacenamiento, y la escasa sensibilización de los trabajadores vinculados a la cosecha (2).

En muchos casos los motivos por los que se desechan frutas y verduras son exclusivamente criterios estéticos. En términos generales, la presencia de imperfecciones en frutas y verduras influye negativamente en la percepción de la calidad e inocuidad, a la vez que genera asociaciones emocionales negativas (2).

La reutilización es una de las estrategias que se han implementado para reducir el desperdicio de alimentos en las últimas etapas de la cadena de suministro. Está basado en

una bioeconomía sustentable, orientada a reinsertar en la cadena de valor a subproductos y excedentes de la cadena agroalimentaria (3).

Los cítricos son uno de los grupos de frutas más importantes a nivel mundial, con una producción significativa en varios países. Los principales productores de cítricos incluyen a China, Brasil, India, México y Estados Unidos. Estos países contribuyen en gran medida al suministro global de cítricos, principalmente naranjas, limones, limas, pomelos y mandarinas (4). Los cítricos representan el sector más grande de la producción mundial de frutas, con 100 millones de toneladas por temporada, y alrededor del 34% de los cítricos se utilizan para producir jugos (5).

México produce en promedio 2 millones de toneladas por año de limones y limas, de los cuales, únicamente 29% (625,000 t) es destinado a exportación (6) y del resto que se queda en el país, aproximadamente 40%, es desechado por carecer de valor comercial. Derivado de las jugueras, se generan enormes cantidades de subproductos anuales, aproximadamente un tercio de la materia prima (5). Las cáscaras son la mayor proporción de subproductos del procesamiento de cítricos, sin embargo, la mayor parte se desperdicia.

En los últimos años, ha habido un creciente interés en el aprovechamiento de subproductos cítricos debido a su riqueza en compuestos bioactivos como fenoles y fibra dietética. Estudios recientes han demostrado que las cáscaras y bagazos de cítricos pueden ser utilizados para producir harinas con propiedades funcionales beneficiosas para la industria alimentaria (7,8,9,10). Estas harinas pueden mejorar la calidad nutricional y funcional de los productos alimenticios, además de contribuir a la sostenibilidad al reducir los desechos agroindustriales.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la viabilidad del aprovechamiento de subproductos de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para la producción de harinas con aplicaciones potenciales en la industria alimentaria. Específicamente, se determinaron las condiciones óptimas de secado y tratamiento térmico para maximizar las propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales de las harinas obtenidas.

La novedad de esta investigación radica en la evaluación específica de las condiciones óptimas de secado y tratamiento térmico para la producción de harinas de subproductos de limón persa. Además, se enfoca en determinar las propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales de estas harinas, explorando su potencial para ser utilizadas en diversos sectores de la industria alimentaria, como productos de panadería, cárnicos y lácteos.

2. Materiales y métodos

2.1 Reactivos

Para realizar los análisis de las harinas se utilizaron los siguientes reactivos: soluciones tampón pH 4 y 7, agua destilada, hidróxido de sodio, fenoltaleína y aceite de maíz.

2.2 Material vegetal

El limón persa fue proporcionado por una empacadora ubicada en km 27.3 Carretera Federal Córdoba–Veracruz en marzo de 2021. Los frutos suministrados fueron de los descartados por no cumplir con los estándares de tamaño (calibre) y por el grado de maduración, evidenciado por ligeras manchas amarillas en la piel, lo que los hace no aptos para el mercado fresco. Estos subproductos se

envían a jugueras de la zona. Los limones se trasladaron a la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz ubicada en Av. Universidad No. 350, Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja, Congregación Dos Caminos, Cuitláhuac, C.P. 94910, Veracruz, México. El material vegetal se procesó el mismo día de su traslado.

2.3 Medición de atributos físicos y proporción del fruto

Se tomaron diez frutos de limón persa y se pesaron utilizando una balanza digital (Torrey, clase 3, México), los cuales equivalen a un kilogramo, aproximadamente, para calcular la proporción de bagazo, cáscara y jugo. Posteriormente, utilizando un vernier de 6" (150 mm) (Calibrador digital, modelo No. 7352, Japón) se determinaron el diámetro polar y diámetro ecuatorial para cada fruto.

2.4 Elaboración de las harinas

Del total de limones proporcionados por la empacadora (20 kg), se tomaron tres, se realizó un lavado con agua para retirar posible materia orgánica extraña, se extrajo el jugo de limón, y se separó el bagazo de la cáscara de forma manual. Los residuos de los tratamientos correspondientes se escaldaron a 100 °C por 10 min y se secaron en un horno análogo (Felisa®, Jalisco, México) de acuerdo al diseño experimental (Tabla 1). Posteriormente, se redujo el tamaño de partícula con un molino (Desintegrador multifuncional GRT-20B, 3000 W, 25000 rpm, China) y se pasaron por un tamiz de pruebas físicas de número 30 (0.595 mm) de acero inoxidable (Montinox®, modelo TI82030, México). Todos los tratamientos se realizaron por triplicado.

Tabla 1. Tratamientos para la elaboración de harinas derivados del diseño experimental.

Tratamiento	Residuo	Pretratamiento	Temperatura de secado (°C)
CF70	Cáscara	Fresco	70
CE70	Cáscara	Escaldado	70
CF80	Cáscara	Fresco	80
CE80	Cáscara	Escaldado	80
CF90	Cáscara	Fresco	90
CE90	Cáscara	Escaldado	90
BF70	Bagazo	Fresco	70
BE70	Bagazo	Escaldado	70
BF80	Bagazo	Fresco	80
BE80	Bagazo	Escaldado	80
BF90	Bagazo	Fresco	90
BE90	Bagazo	Escaldado	90

Fuente: elaborada por autor.

2.5 Caracterización fisicoquímica y tecno-funcional de las harinas

Para la caracterización fisicoquímica de las harinas se determinaron por triplicado los siguientes análisis: pH con un potenciómetro (Conductronic®, modelo PC45, Puebla, México) empleando la AOAC 981.12 (AOAC, 1990), acidez titulable expresada como porcentaje de ácido cítrico de acuerdo con la Norma NMX-F-102-S-1978, sólidos solubles (°Brix) con un refractómetro digital de mano (pocket ATAGO®, modelo PAL-3, Tokio, Japón) mediante la AOAC 932.12 (AOAC, 1990), color (Konica & Minolta®, modelo CR-400, Japón) con el método CIELab, humedad empleando la Norma NMX-F-083-1986, y a_w con un medidor de actividad de agua (AQUALAB®, 4TE, Lleida, España).

Para conocer las propiedades tecno-funcionales de las harinas se determinaron por triplicado la capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de hinchamiento (CH) y capacidad de retención de aceite (CRAceite), de acuerdo con el método propuesto por Robertson *et al.* (2000) (11).

2.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar con parcelas subsubdivididas. El primer factor fue el tipo de residuo con dos niveles: bagazo y cáscara. El segundo factor correspondió al efecto del tratamiento térmico con dos niveles: fresco y escaldado. El tercer factor fue la temperatura de secado con tres niveles: 70, 80 y 90 °C. El análisis estadístico se llevó a cabo con el software SAS® versión 9.4, con un nivel de confianza del 95% y una comparación de medias con la prueba de Tukey. El modelo estadístico del diseño experimental se presenta a continuación:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \omega_{l(i)} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_{l(ij)} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

$$i = 1,2; j = 1,2; k = 1,2,3; l = 1,2,3$$

Donde: y_{ijkl} es la $ijkl$ ésima respuesta observada, μ es la media general, α_i es el efecto fijo del tipo de residuo, $\omega_{l(i)}$ es el error aleatorio debido a tipo de residuo dentro de

repetición $\{\omega_{l(i)} \sim N(0, \sigma_{\omega}^2)\}$, β_j es el efecto fijo de temperatura, $(\alpha\beta)_{ij}$ es la interacción entre tipo de residuo con temperatura, $\delta_{l(ij)}$ es el error aleatorio debido al tipo de bagazo con temperatura dentro de repetición $\{\delta_{l(ij)} \sim N(0, \sigma_{\omega}^2)\}$, γ_k es el efecto fijo de la temperatura de secado, $(\alpha\gamma)_{ij}$ es el efecto fijo de la interacción tipo de residuo y la temperatura de secado, $(\beta\gamma)_{jk}$ es el efecto fijo de la interacción temperatura y temperatura de secado, $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es la interacción tipo de residuo, temperatura y temperatura de secado y ε_{ijkl} es el error experimental donde cada ε_{ijkl} tiene media 0 y varianza constante $\sigma^2 \{\varepsilon_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2)\}$.

3. Resultados y discusión

Se midieron los atributos físicos y la proporción de bagazo, cáscara y jugo de los limones. El peso de los frutos fue de 81 ± 26.02 g, con diámetro polar de 59.9 ± 3.25

mm y diámetro ecuatorial de 51.7 ± 2.12 mm, lo cual muestra la variabilidad del calibre de estos frutos. La cantidad de bagazo fue de 46.59%, 31.25% de cáscara y 22.15% de jugo. Los tiempos de secado se realizaron al mismo tiempo, tanto de cáscara como de bagazo fueron de 570 min a 70 °C, 390 min a 80 °C y 270 min a 90 °C, reduciendo al 10% el peso del producto en base seca. En la Figura 1 se muestran los tratamientos de limón persa deshidratados.

La caracterización fisicoquímica de las frutas es importante para mejorar la calidad y agregar valor al producto final (9). En la Figura 2 se observan las harinas obtenidas en cada tratamiento. Los resultados de los análisis fisicoquímicos de las harinas de bagazo y cáscara del limón persa se muestran en la Tabla 2 y las significancias estadísticas de los factores se presentan en la Tabla 3.

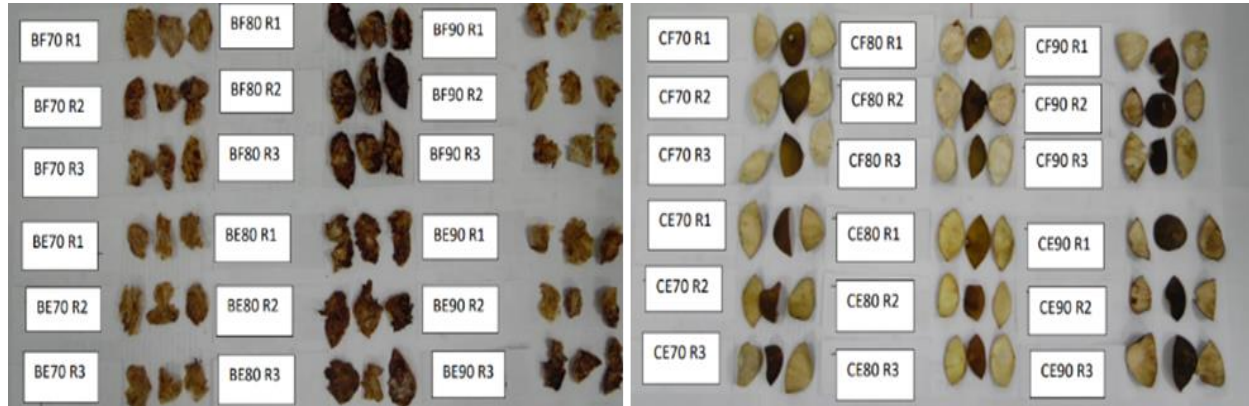


Figura 1. Bagazo y cáscara de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) deshidratados. BF: bagazo fresco, BE: bagazo escaldado, CF: cáscara fresca, CE: cáscara escaldado. 70, 80 y 90 indican las temperaturas de secado en °C; y R1, R2 y R3 las repeticiones por tratamiento.

Fuente: elaborada por autor.

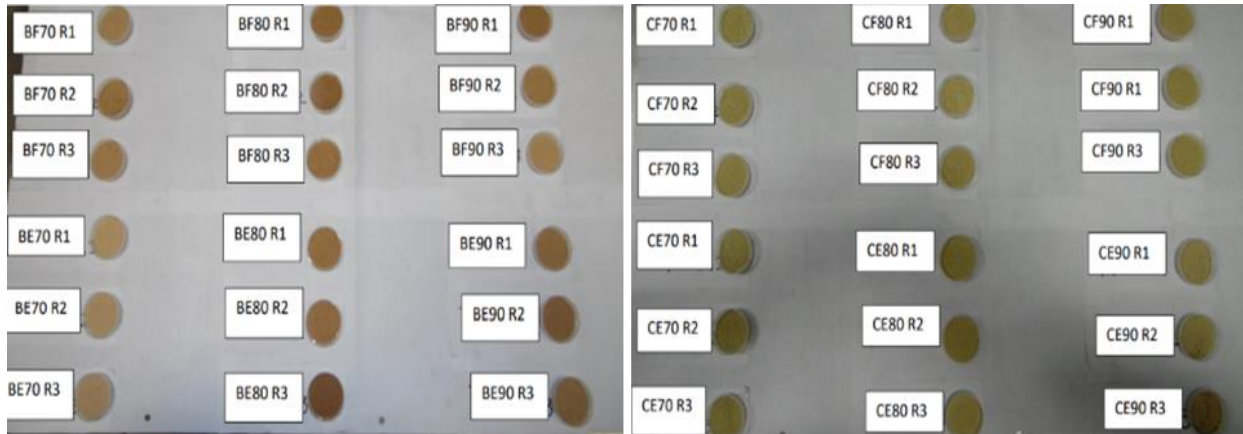


Figura 2. Harinas de bagazo y de cáscara de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) obtenidas de los diferentes tratamientos. BF: bagazo fresco, BE: bagazo escaldado, CF: cáscara fresco, CE: cáscara escaldado. 70, 80 y 90 indican las temperaturas de secado en °C; y R1, R2 y R3 las repeticiones por tratamiento.

Fuente: elaborada por autor.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de las harinas de cáscara y de bagazo de limón persa derivadas de los diferentes tratamientos.

Tratamientos	pH	Acidez (%)	SS (°Brix)	Humedad (%)	a _w	Color		
						L*	a*	b*
CF70	3.93 ^a	7.03 ^c	2.73 ^d	4.24 ^{ab}	0.36 ^{cd}	76.05 ^a	-2.32 ^e	26.44 ^a
CE70	3.96 ^a	26.19 ^a	3.00 ^{cd}	3.75 ^{ab}	0.32 ^{cd}	74.58 ^{ab}	1.76 ^{cd}	22.42 ^{cd}
CF80	4.07 ^a	8.40 ^c	3.40 ^c	3.12 ^b	0.33 ^{cd}	76.68 ^a	-1.20 ^{de}	25.10 ^{ba}
CE80	4.04 ^a	7.70 ^c	3.26 ^{cd}	4.71 ^{ab}	0.33 ^{cd}	60.37 ^d	7.87 ^a	22.11 ^d
CF90	3.85 ^a	7.43 ^c	2.90 ^{cd}	5.06 ^{ab}	0.48 ^a	73.67 ^{ab}	-0.75 ^{de}	24.97 ^{abc}
CE90	3.74 ^a	9.00 ^{bc}	3.40 ^c	5.60 ^{ab}	0.46 ^{ab}	64.65 ^{cd}	6.43 ^{ab}	22.66 ^{bcd}
BF70	3.26 ^b	38.96 ^a	5.30 ^b	6.55 ^a	0.40 ^{bc}	68.17 ^{bc}	5.67 ^{ab}	22.54 ^{cd}
BE70	3.32 ^b	29.76 ^a	5.13 ^b	4.05 ^{ab}	0.37 ^{cd}	74.17 ^{ab}	3.72 ^{bc}	21.73 ^d
BF80	2.92 ^{cd}	38.63 ^a	6.10 ^a	3.48 ^{ab}	0.29 ^d	63.01 ^{cd}	7.47 ^a	21.69 ^d
BE80	3.26 ^{bc}	25.96 ^{ab}	6.20 ^a	3.66 ^{ab}	0.37 ^c	60.62 ^d	7.82 ^a	22.19 ^d
BF90	2.88 ^d	23.66 ^{abc}	5.40 ^b	3.91 ^{ab}	0.38 ^c	66.60 ^{cd}	6.15 ^{ab}	22.54 ^{cd}
BE90	2.88 ^d	22.80 ^{abc}	5.06 ^b	5.08 ^{ab}	0.40 ^{bc}	65.13 ^{cd}	6.40 ^{ab}	22.95 ^{bcd}

Promedios con letras iguales no presentan diferencia estadística significativa con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Fuente: elaborada por autor.

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostrando la significancia estadística de los efectos principales e interacciones entre tipo de residuo, pretratamiento y temperatura de secado en las propiedades fisicoquímicas de las harinas de limón persa.

Effect	pH	Acidez	SS	Humedad	A _w	L*	a*	b*
FA	<.0001	0.0006	<.0001	0.9009	0.2487	0.0003	0.0006	0.0004
FB	0.3772	0.8138	0.6339	0.8178	0.8901	0.0007	0.8138	0.0008
FA*FB	0.1154	0.0012	0.0597	0.1987	0.0234	0.0002	0.0012	0.0007
FC	<.0001	0.0017	<.0001	0.0309	<.0001	<.0001	0.0017	0.2260
FA*FC	0.0023	0.1489	0.0007	0.0518	<.0001	0.1892	0.1489	0.2013
FB*FC	0.0488	0.0615	0.8039	0.0155	0.0135	<.0001	0.0615	0.0892
FA*FB*FC	0.0980	0.0343	0.0102	0.2962	0.2445	0.1667	0.0343	0.8436

FA: Factor A (Residuo: Bagazo, cáscara); FB: Factor B (Pretratamiento: Escaldado, Fresco), FC: Factor C (Temperatura de secado: 70 °C, 80 °C, 90 °C). Las diferencias significativas se indican con un valor de $p < 0.05$.

3.1 pH y acidez

El pH y la acidez de los alimentos están influenciados por la presencia de diversos ácidos orgánicos como el ácido cítrico, málico, tartárico, oxálico, fórmico, succínico y galacturónico, los cuales afectan el sabor, color y estabilidad del producto (13). Diversos estudios han demostrado que los ácidos orgánicos no solo mejoran el sabor y la estabilidad de los alimentos, sino que también desempeñan un papel crucial en la regulación de la acidez y la preservación de la calidad de los alimentos (14).

Las harinas de bagazo presentaron una acidez que varió entre 22.80 y 38.96 %, mientras que las harinas de cáscara mostraron valores de acidez que oscilaron entre 7.03 y 26.19 %. Esto se vio reflejado en el pH, el cual fue de 2.88 a 3.26 en harina de bagazo y 3.74 a 4.07 en harina de cáscara. Lo anterior demuestra que el proceso de escaldado disminuye la acidez en la harina de bagazo, pero no es útil para reducir la acidez de la harina de cáscara. La acidez titulable es otro parámetro fisicoquímico que disminuye al avanzar la madurez como resultado de la descomposición del ácido cítrico (15). Por otra parte, al aplicar escaldado a las pulpas se produce la inactivación de enzimas como catalasa, lipasa, lipoxigenasa, peroxidasa y polifenoloxidasas, con disminución de la pérdida de ácido ascórbico, aroma, sabor y color, además, se reduce la fermentación y se promueve la estabilización de la textura (16).

Por otro lado, las harinas que se secaron a 90 °C (15.73%, pH 3.34) presentaron menor acidez que las secadas a 80 °C (20.18%, pH 3.58) y 70 °C (25.49%, pH 3.62); aunque el pH fue significativamente más ácido con el aumento de la temperatura (3.62 a 70 °C, 3.58 a 80 °C y 3.34 a 90 °C). La harina CF70 presentó baja acidez (7.03) y un pH de los más elevados (pH 3.94) entre las harinas de cáscara, por lo que este tratamiento es más

favorable, considerando estos dos parámetros.

Se encontró un pH de 3.98 en fibra de cáscara de limón (*Citrus limon cv Fino*) secada a 65 °C por 24 h (17), el cual es similar a los encontrados en las harinas de cáscara de limón persa. Por otro lado, las harinas de bagazo con menor acidez mostraron un pH muy ácido: BE90 (22.80%, pH 2.88) y BF90 (23.67%, pH 2.88); sin embargo, la harina BE80 presentó un pH de 3.26 y una acidez de 25.96%, lo que indica una alta concentración de ácidos orgánicos, principalmente ácido cítrico. Esta podría ser una opción adecuada para evaluarla en productos que requieran un sabor cítrico pronunciado. En frutos climatéricos el aumento del índice de madurez (IMAD) se presenta principalmente cuando estos alcanzan la tasa máxima de respiración, ocurriendo un desdoblamiento de las reservas (ácidos orgánicos), como respuesta al incremento de su metabolismo; es por ello que la acidez decrece con el tiempo (18).

3.2 Sólidos solubles

Respecto a los sólidos solubles (SS), conforman del 10 al 20 % del peso del limón fresco, y son principalmente carbohidratos, y en pequeñas cantidades, ácidos orgánicos, proteínas, lípidos y minerales (19). En las harinas de residuos de limón, los sólidos solubles disminuyen considerablemente, ya que los residuos están principalmente compuestos de fibra, siendo el jugo el que concentra la mayoría de los carbohidratos, ácidos orgánicos y minerales (20).

Las harinas de bagazo presentaron sólidos solubles que variaron entre 5.06 y 6.20 °Brix, mientras que las harinas de cáscara presentaron valores de sólidos solubles entre 2.73 y 3.40 °Brix. Esto puede explicarse por la mayor cantidad de carbohidratos y ácidos orgánicos presentes en el bagazo (21). Por

otro lado, no hubo diferencia entre las harinas de residuos frescos y de escaldados. Sin embargo, la temperatura impactó en los SS, los cuales fueron superiores a una temperatura de secado de 80 °C tanto en los residuos frescos como en los escaldados. Esto se debe a que temperaturas de secado más altas, como 80 °C, promueven una mayor evaporación del agua, lo que reduce el contenido de agua en los residuos y concentra los solutos. Como resultado, se obtiene una mayor concentración de SS debido a la eficiencia en la eliminación del agua a estas temperaturas elevadas; esto sugiere que esta temperatura es óptima ya que preserva los componentes solubles durante el secado.

3.3 Humedad y a_w

En el caso de la humedad y la a_w , se observó un efecto significativo de la temperatura de secado, así como de algunas interacciones con los otros factores evaluados. Todas las harinas presentaron una humedad menor al 14%, cumpliendo con el estándar de humedad establecido por el Codex Alimentarius (22). La a_w promedio de las harinas disminuyó proporcionalmente con la humedad. La a_w es un parámetro crucial para la estabilidad y seguridad de los alimentos. Los productos con una a_w menor a 0.85 se consideran seguros frente al crecimiento microbiano patógeno (23). En nuestro estudio, las harinas presentaron niveles de a_w de 0.29 a 0.48, sugiriendo una buena estabilidad microbiológica y seguridad del producto. La humedad y la a_w de las harinas disminuyeron con el aumento de la temperatura de secado, siendo 80 °C la temperatura óptima para obtener una baja humedad y a_w . Esto es consistente con estudios que indican que temperaturas de secado moderadas son eficaces para reducir la humedad sin comprometer la calidad de los productos. Por ejemplo, un estudio reciente mostró que el secado a temperaturas moderadas, como 80 °C, mantiene la calidad de los productos

secos al minimizar la pérdida de compuestos bioactivos y preservar las características sensoriales (24).

En particular, la harina de cáscara fresca a 80 °C (CF80) presentó menor humedad que el resto de las harinas de cáscara, sin embargo, no se presentó diferencia significativa entre las harinas de bagazo fresco y escaldado secados a 80 °C (BF80 y BE80). Cabe señalar que, aunque la harina de cáscara a 90 °C mostró mayor a_w (0.47) que la harina de bagazo a 90 °C (0.39), a 80 °C no se observó diferencia significativa entre la a_w de las harinas de cáscara (0.33) y bagazo (0.33). Las harinas con menor humedad fueron CF80 (3.12%, $a_w=0.33$) y BF80 (3.49%, $a_w=0.29$), por otro lado, la harina con mayor humedad fue BF70 (6.56 %, $a_w=0.40$).

Otros estudios en residuos cítricos deshidratados han presentado humedades superiores a las encontradas en las harinas de limón persa. Se reportó un contenido de humedad de 10.62, 9.52 y 7.64 % en residuos de *Citrus lemon* (L.) *Burn f* secados a 70 (20 h), 80 (16 h) y 90 °C (16 h), respectivamente (21). Por otro lado, se analizaron residuos de naranja dulce escaldados y secados a 50 °C por 24 h, los cuales presentaron una humedad de 9.46 y 10.23 % para cáscara de naranja y pulpa de naranja, respectivamente (25). Mientras tanto, se encontró una a_w de 0.13 en fibra de cáscara de limón (*Citrus limon cv Fino*) secada a 65 °C por 24 h (17).

3.4 Color

Las harinas de cáscara presentaron una mayor luminosidad, con valores que oscilaron entre 60.37 y 76.68, en comparación con las harinas de bagazo, cuyos valores de luminosidad variaron entre 60.62 y 74.17. Esta diferencia se debe a la distinta composición de los residuos. La cáscara contiene menos pigmentos marrones y compuestos que tienden a oscurecerse durante el secado, como

las fibras insolubles y la celulosa presentes en mayor cantidad en el bagazo (9,21). Además, los compuestos fenólicos en la cáscara pueden contribuir a una mayor capacidad de reflejar luz (10).

Por otra parte, las harinas de residuo escaldado mostraron una disminución en luminosidad en comparación con las harinas de residuo fresco. Además, a temperaturas de secado más altas, se observó una disminución en los valores de L^* , indicando un color más oscuro en las harinas. Este efecto se debe a la mayor degradación térmica de los compuestos responsables del color a temperaturas elevadas. En concreto, los tratamientos con mayor luminosidad fueron CF80 (76.68) y CF70 (76.06), mientras que CE80 y BE80 presentaron los valores más bajos de L^* (60.37 y 60.63, respectivamente). Estos resultados coinciden con investigaciones que demuestran que temperaturas más bajas durante el secado pueden preservar mejor los colores naturales de los subproductos (26).

Respecto a los valores de a^* y b^* , todos los factores tuvieron efecto significativo en estos parámetros. La harina de bagazo presentó valores de a^* entre 3.72 - 7.82 y en b^* un rango de 21.69 a 22.95. Por su parte, la harina de cáscara obtuvo un rango de -2.32 a 7.87 en a^* y 22.11 a 26.44 en b^* . Estos resultados se deben a que las harinas de bagazo tuvieron tonos marrones por lo que mostraron mayor tendencia al rojo y un poco menos al amarillo que las harinas de cáscara, las cuales fueron más claras y en tonalidades crema.

Por otra parte, las harinas de bagazo fueron afectadas significativamente por el proceso de escaldado, ya que las harinas de residuos escaldados exhibieron mayor tendencia al rojo y menor intensidad de amarillo. Además, las harinas de bagazo en fresco presentaron tonalidades más cercanas al verde y al amarillo que las escaldadas. Al parecer, el

proceso de escaldado indujo el oscurecimiento del bagazo de limón y a la pérdida de compuestos que otorgan el color al fruto. El procesamiento térmico de los alimentos afecta la calidad del producto, produciendo pérdida de componentes termolábiles y termosensibles responsables de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos (27).

La temperatura de secado no afectó los valores de b^* , no obstante, impactó en los valores de a^* (rojo-verde). Las harinas secadas a 70 °C presentaron menor valor de a^* (menos rojo), lo cual demuestra que las altas temperaturas de secado oscurecen las harinas, por lo que esto debe considerarse si se desean obtener harinas claras.

3.5 Propiedades tecno-funcionales

Con el objetivo de determinar el empleo potencial de las harinas de residuos de limón persa en alimentos, se analizaron algunas propiedades tecno-funcionales como capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de hinchamiento (CH) y capacidad de retención de aceite (CRAceite). Las significancias estadísticas de los factores se presentan en la Tabla 4.

Las harinas de residuos de frutas tienen una composición y características reológicas diferentes a las de la harina de trigo, ya que esta última posee gluten, el cual aporta propiedades viscoelásticas adecuadas en la fabricación de diversos productos alimenticios como galletas y panes. No obstante, las fibras de las frutas son de buena calidad debido a su elevado contenido de fibra total y de fibra soluble, la cual es deseable por sus propiedades nutricionales, funcionales y tecnológicas; por lo que pueden sustituir parte de la harina de trigo sin afectar negativamente las características físicas y sensoriales del producto final (28,29).

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostrando la significancia estadística de los efectos principales e interacciones entre tipo de residuo, pretratamiento y temperatura de secado en las propiedades tecno-funcionales de las harinas de limón persa.

Effect	Capacidad de retención de agua	Capacidad de hinchamiento	Capacidad de retención de aceite
FA	<.0001	<.0001	0.2010
FB	0.5055	<.0001	0.4131
FA*FB	0.5924	<.0001	0.2859
FC	0.0836	<.0001	0.4572
FA*FC	0.0368	0.2088	0.1771
FB*FC	0.0149	0.0020	0.0597
FA*FB*FC	0.0009	0.0063	0.6802

FA: Factor A (Residuo: Bagazo, cáscara); FB: Factor B (Pretratamiento: Escaldado, Fresco), FC: Factor C (Temperatura de secado: 70 °C, 80 °C, 90 °C). Las diferencias significativas se indican con un valor de $p < 0.05$.

3.5.1 Capacidad de retención de agua (CRA)

Las fibras de las frutas poseen buenas propiedades funcionales, como la capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de absorción de aceite (CAA), además de un bajo contenido calórico (30). La Figura 3 muestra la CRA de las harinas de los diferentes tratamientos. La CRA se vió afectada de manera significativa por el tipo de residuo de limón persa. La capacidad de retención de agua fue significativamente

mayor en las harinas de bagazo (0.22 a 0.24 g de H₂O/g muestra seca) en comparación con las harinas de cáscara (0.05 a 0.11 g H₂O/g muestra seca), lo cual se atribuye al mayor contenido de fibra soluble presente en el bagazo, que tiene una alta capacidad para retener agua. Estudios recientes han demostrado que las fibras dietéticas con alto contenido de fibra soluble, como las de los subproductos cítricos, presentan una excelente capacidad de retención de agua y propiedades funcionales mejoradas (24).

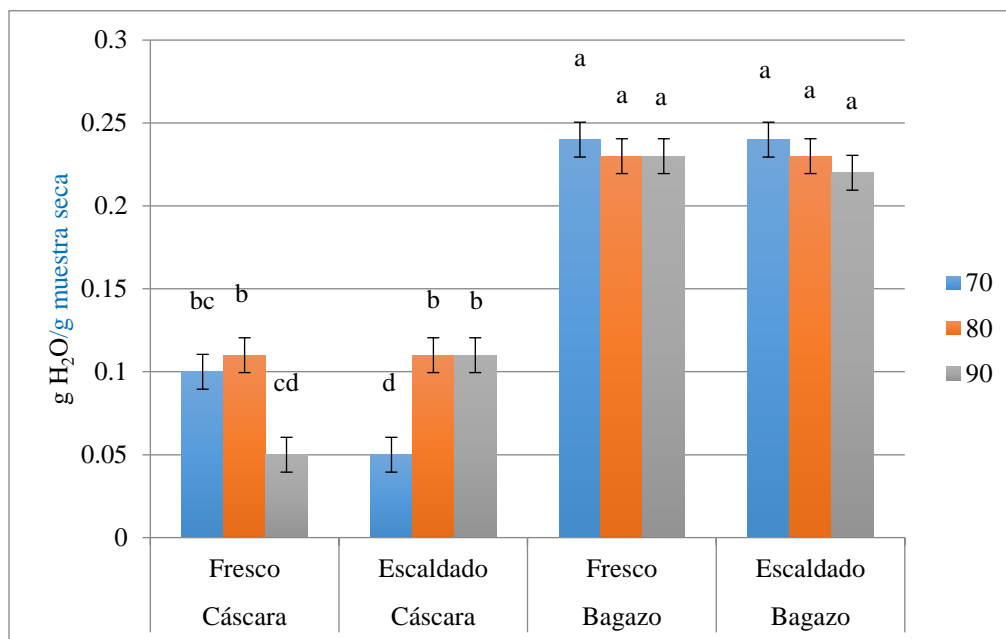


Figura 3. Capacidad de retención de agua de las harinas de residuos de limón persa (*Citrus latifolia*). Letras diferentes indican diferencia estadística significativa con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Fuente: elaborada por autor.

La CRA de fibra obtenida a partir de cítricos depende de la estructura física, composición química y contenido de fibra soluble, así como del procesamiento que se le dé al residuo (31,32). En este caso, el escaldado no afectó la CRA de la harina de limón persa, por lo que no se presentaron diferencias significativas entre harinas de residuo escaldado y fresco. Además, tampoco se vió un efecto de la temperatura de secado en las harinas. Cabe destacar que la harina de cáscara escaldada a 70 °C mostró una CRA significativamente inferior (0.05 g H₂O/g muestra seca) en comparación al resto de tratamientos.

Otros autores encontraron CRA superiores a las obtenidas en este estudio. La CRA para fibra de limón (*Citrus limon cv Fino*) varió entre 6 y 13 g de agua/g de fibra para residuo sin escaldar y residuo escaldado, respectivamente (17). Por otra parte, se obtuvo una CRA de 10.66 g de agua/g de fibra de frutas cítricas (11).

3.5.2 Capacidad de hinchamiento (CH)

La CH en alimentos con importante contenido proteico se considera una propiedad funcional de las proteínas debido a

la interacción proteína-agua, importante en la elaboración de alimentos viscosos como sopas, salsas y masas, y de productos horneados. No obstante, ya que la CH está directamente relacionada con la CRA, en harinas con alto contenido de fibra, como las de residuos cítricos, la CH está vinculada con el contenido de fibra (33).

En la Figura 4 se presentan los resultados de la CH de los diferentes tratamientos de harinas de residuos de limón persa. El análisis de varianza mostró efecto significativo del tipo de residuo, pretratamiento y temperatura de secado, así como de sus interacciones, con excepción de la interacción entre tipo de residuo y temperatura de secado. La CH para harinas de bagazo fue de 5.73 a 7.06 g H₂O/g muestra seca, y para harinas de cáscara fue de 0.5 a 6.33 g H₂O/g muestra seca. La fibra de frutas y hortalizas tiene una elevada proporción de fibra soluble en agua como pectina y gomas, este tipo de fibra muestra propiedades funcionales importantes, entre las cuales están la CRA y por lo tanto la CH; sin embargo, la cáscara posee una mayor proporción de fibra insoluble como celulosa, hemicelulosa y lignina por lo que su CH es menor (25).

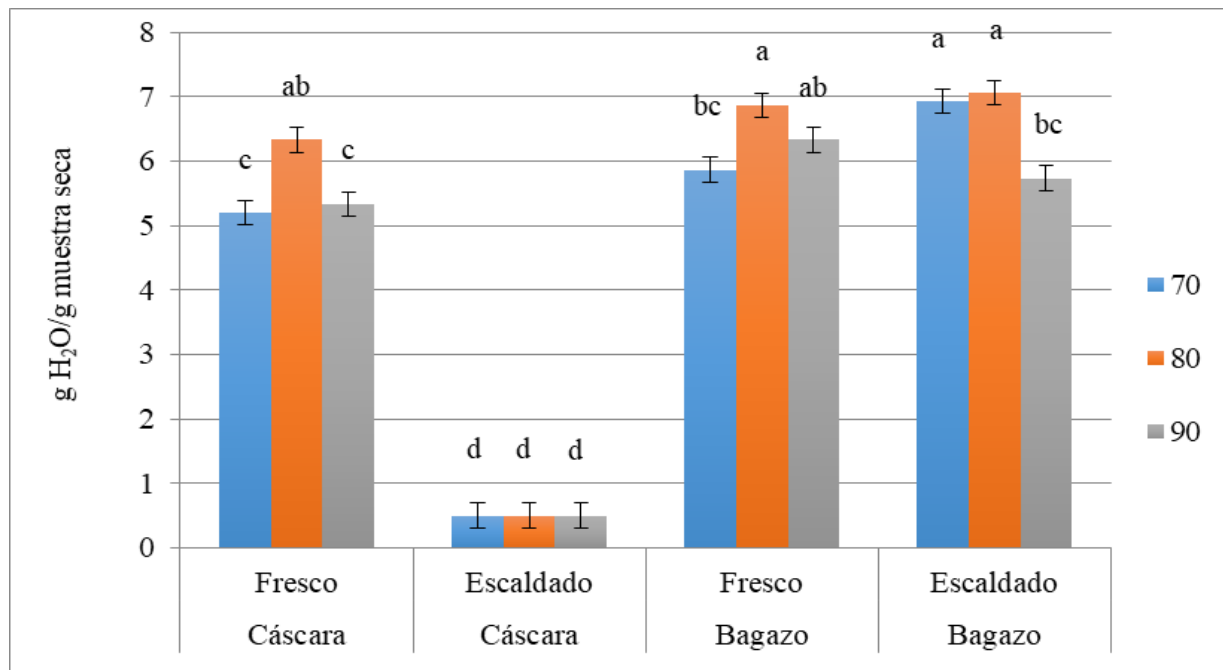


Figura 4. Capacidad de hinchamiento de las harinas de residuos de limón persa (*Citrus latifolia*). Letras diferentes indican diferencia estadística significativa con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Fuente: elaborada por autor.

Por su parte, el proceso de escaldado redujo significativamente la CH de las harinas de cáscara. Las harinas de cáscara en fresco mostraron una CH de 5.2 a 6.33 g H₂O/g muestra seca, mientras que las harinas de cáscara escaldada presentaron 0.5 g H₂O/g muestra seca, sin importar la temperatura de secado. Esta reducción puede atribuirse a la descomposición de componentes solubles como las pectinas presentes en la cáscara, que son sensibles al calor y, al descomponerse, disminuyen la capacidad de la cáscara para retener agua (24,34).

En contraste, en las harinas de bagazo, el proceso del escaldado no disminuyó la CH, incluso se incrementó ligeramente en harinas secadas a 70 y 80 °C. A diferencia de la cáscara, el bagazo presenta mayor contenido de fibras insolubles y celulosa, las cuales mantienen su capacidad de hinchamiento incluso después de un tratamiento térmico como el escaldado.

3.5.3 Capacidad de retención de aceite (CRAceite)

La CRAceite expresa la capacidad que tiene la fibra para retener aceite después de ser sometida a una fuerza externa, por ejemplo, la centrifugación; asimismo, indica de manera indirecta el grado de interferencia de la fibra en la adsorción de lípidos en el tracto gastrointestinal (35). La CRAceite de las harinas de residuos de limón persa no se vió afectada por ninguno de los factores evaluados (Figura 5). Las harinas presentaron 0.07 a 0.09 y 0.05 a 0.08 g aceite/g muestra seca para la harina de bagazo y de cáscara, respectivamente. De la misma manera, en otro estudio no se observó efecto del escaldado en fibra de residuos de limón, aunque la CRAceite fue muy superior (6.58 a 6.81 g de aceite/g de fibra) (17) en comparación al presente estudio. Las propiedades funcionales dependen de la estructura química de los polisacáridos presentes en el producto. El proceso de secado puede alterar las propiedades fisicoquímicas de los productos modificando

sus propiedades funcionales (36). Sin embargo, investigaciones recientes han mostrado que la estructura de las fibras dietéticas, incluyendo su capacidad de retención de aceite, se mantiene estable bajo

diversas condiciones de procesamiento térmico (37). Otros autores obtuvieron valores de 2.46 y 1.69 g aceite/g muestra para harinas de cáscara de pepino y semillas de pepino, respectivamente (26).

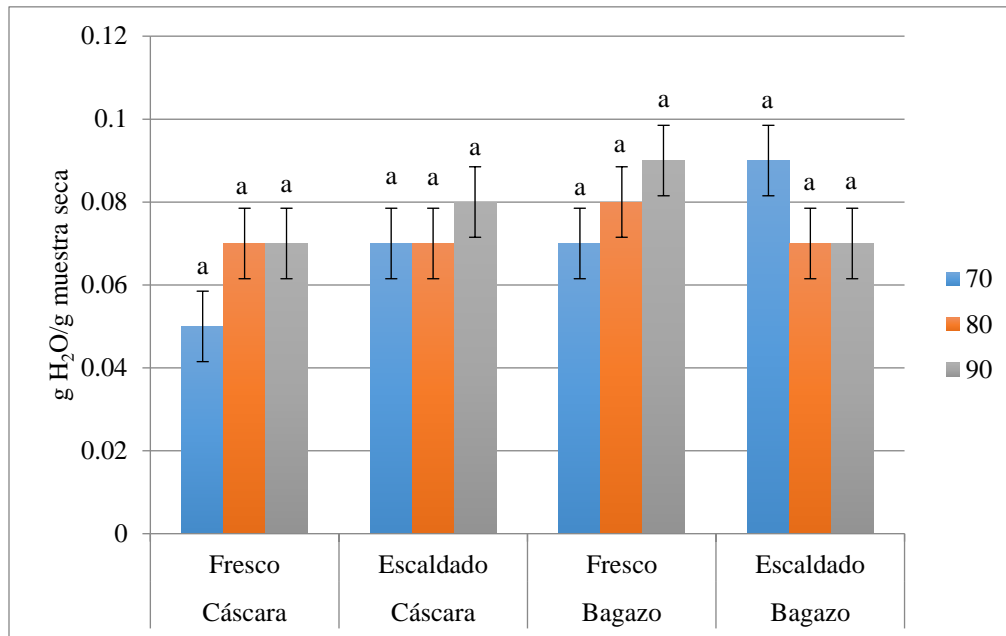


Figura 5. Capacidad de retención de aceite de las harinas de residuos de limón persa (*Citrus latifolia*). Letras diferentes indican diferencia estadística significativa con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Fuente: elaborada por autor.

4. Conclusiones

Se elaboraron harinas de subproductos de limón persa y se evaluaron los efectos del tipo de residuo, el tratamiento térmico y la temperatura de secado en sus características fisicoquímicas y propiedades funcionales. El escaldado redujo la acidez en la harina de bagazo, aunque en harina de cáscara el escaldado incrementó la acidez. El proceso de escaldado no afectó el contenido de sólidos solubles de las harinas, por otro lado, las harinas secadas a 80 °C mostraron la menor humedad y actividad de agua. Respecto al color, las harinas de cáscara presentaron mayor luminosidad, en especial con residuo fresco, ya que el escaldado parece inducir el oscurecimiento de la fibra. Finalmente, aunque la capacidad de retención de aceite no se vió afectada por ninguno de los factores, la harina de bagazo presentó mayor capacidad

de retención de agua y capacidad de hinchamiento; adicionalmente, el proceso de escaldado redujo la capacidad de hinchamiento de las harinas de cáscara. Los tratamientos que produjeron las mejores harinas fueron CF80 (cáscara fresca y 80 °C) y BE70 (bagazo escaldado y 70 °C). Estos tratamientos destacaron por su menor humedad y actividad de agua, además de mostrar buenas propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales. Las harinas de subproductos de limón persa obtenidas en este estudio presentaron buenas propiedades fisicoquímicas y funcionales, indicando su potencial como ingredientes en productos de panadería (pan, galletas, pasteles), cárnicos (hamburguesas, salchichas), lácteos (yogures, quesos), sin gluten y alimentos funcionales. Sin embargo, se requieren análisis adicionales para evaluar su perfil nutricional

completo, posibles alérgenos, estabilidad durante el almacenamiento y su comportamiento en diferentes matrices alimentarias. Es necesaria más investigación para evaluar su aplicación y determinar los sectores más adecuados en la industria alimentaria.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la LGAC-2: Innovación y Desarrollo de Procesos Agroalimentarios para el Bienestar Social del programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y al Posgrado del Doctorado en Ciencias por Investigación, así mismo al Departamento de Procesos Alimentarios de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz y al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el apoyo al fortalecimiento del Cuerpo Académico (UTCV-CA-1): Implementación y mejoramiento de gestión de calidad y producción agroalimentaria; así mismo a IPB. Paola Lizeth Ramírez Ameca y Miguel Concepción del Valle por su valioso apoyo durante el proyecto.

5. Referencias

1. Brito, T. B., Carrajola, J. F., Gonçalves, E. C. B. A., Martelli-Tosi, M., & Ferreira, M. S. L. (2019). "Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation". *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 121, 412-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.058>
2. Giménez, A., Montoli, P., Curutchet, M. R., y Ares G. (2021). "Estrategias para reducir la pérdida y el desperdicio de frutas y hortalizas en las últimas etapas de la cadena agroalimentaria: avances y desafíos". *Agrociencia Uruguay*, 25(NE2), 813. <https://doi.org/10.31285/agro.25.813>
3. Tchonkouang, R. D., Onyeaka, H., & Miri, T. (2023). "From Waste to Plate: Exploring the Impact of Food Waste Valorization on Achieving Zero Hunger". *Sustainability*, 15(13), 10571. <https://doi.org/10.3390/su151310571>
4. World Citrus Organization. (2022). *World Citrus Statistics 2021/22*. Produce Report. Recuperado de <https://www.producereport.com/article/world-citrus-organization-announces-202122-statistics>
5. Fayek, N. M., El-shazly, A. H., Abdel-monem, A. R., Moussa, M. Y., Abd-elwahab, S. M., & El-tanbouly, N. D. (2017). "Comparative study of the hypocholesterolemic, antidiabetic effects of four agro-waste Citrus peels cultivars and their HPLC standardization". *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 27(4), 488-494. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2017.01.010>
6. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). *Producción Agrícola*. En línea: www.siap.sagarpa.gob.mx.
7. Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S. A., Bashir, N., Nazir, F., & Ahmad Nayik, G. (2016). "Citrus peel as a source of functional ingredient: A Review". *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, Article in press, 4-11.
8. Thikham, S., Tongdonyod, S., Kantala, C., Therdtatha, P., & Klangpetch, W. (2023). "Enhancing

- enzymatic production efficiency of crude pectic oligosaccharides by pulsed electric field and study of prebiotic potential”. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05843-8>
9. Magalhães, D., Vilas-Boas, A. A., Teixeira, P., & Pintado, M. (2023). “Functional Ingredients and Additives from Lemon by-Products and Their Applications in Food Preservation: A Review”. *Foods*, 12(5), 1095. <https://doi.org/10.3390/foods12051095>
 10. Lubinska-Szczygeł, M., Kuczyńska-Łażewska, A., Rutkowska, M., Polkowska, Ż., Katrich, E., & Gorinstein, S. (2023). “Determination of the Major By-Products of Citrus hystrix Peel and Their Characteristics in the Context of Utilization in the Industry”. *Molecules*, 28(6), 2596. <https://doi.org/10.3390/molecules28062596>
 11. Robertson, J. A., de Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R., & Thibault, J. F. (2000). “Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study”. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 33, 72-79.
 12. Schiassi, M. C. E. V., de Souza, V. R., Lago, A. M. T., Campos, L. G., & Queiroz, F. (2018). “Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation”. *Food Chemistry*, 245, 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.104>
 13. Ivit, N. N., Polaskova, P., Stuknyte, M., & Tylewicz, U. (2022). “Effect of Different Winemaking Conditions on Organic Acids Compounds of White Wines”. *Foods*, 11(21), 3408. <https://doi.org/10.3390/foods11213408>
 14. Shi, Y., Pu, D., Zhou, X., & Zhang, Y. (2022). “Recent Progress in the Study of Taste Characteristics and the Nutrition and Health Properties of Organic Acids in Foods”. *Foods*, 11(21), 3408. <https://doi.org/10.3390/foods11213408>
 15. García-López, F. M. (2017). “Relación entre color y parámetros fisicoquímicos del limón persa (*Citrus latifolia* T.) del centro de Veracruz, México”. *Agro Productividad*, 10(9), 9-14.
 16. Luo, Z., Zhang, L., & Wang, M. (2021). “Effect of blanching on enzyme inactivation and quality of fruits and vegetables”. *Foods*, 10(11), 2569. <https://doi.org/10.3390/foods10112569>
 17. Lario, Y., Sendra, E., García-Pérez, J., Fuentes, C., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2004). “Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products”. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(1), 113–117.
 18. Pillco Cochán, C. J., Guzmán Loayza, D., y Cuéllar Bautista, J. E. (2021). “Composición físico química y análisis proximal del fruto de sofaique (*Geoffroea decorticans* (Hook. et Arn.)” procedente de la región Ica-

- Perú”. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 14-25. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.319>
19. Matheyambath, A. C., Padmanabhan, P., & Paliyath, G. (2016). “Citrus fruits”. In: *Encyclopedia of Food and Health*. University of Guelph, Guelph, Canada, pp. 136-140.
20. Duan, X., Hu, J., Yang, F., & Wang, H. (2022). “Dynamic Changes in Volatile Flavor Compounds, Amino Acids, Organic Acids, and Soluble Sugars in Lemon Juice Vesicles during Freeze-Drying and Hot-Air Drying”. *Foods*, 11(18), 2862. <https://doi.org/10.3390/foods11182862>
21. Patrón-Vázquez, J., Baas-Dzul, L., Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Sánchez Contreras, A., García-Cruz, U., & Pacheco, N. (2019). “The effect of drying temperature on the phenolic content and functional behavior of flours obtained from lemon wastes”. *Agronomy*, 9, 474. <https://doi.org/10.3390/agronomy909047>
22. Codex Alimentarius Commission. (1985). *Codex Alimentarius Standard for Wheat Flour (CXS 152-1985)*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%2F3A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B152-1985%252FCXS_152e.pdf
23. Sánchez-Maldonado, A. F., Lee, A., & Farber, J. (2018). “Methods for the Control of Foodborne Pathogens in Low-Moisture Foods”. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 177-208. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012304>
24. Nowacka, M., Dadan, M., & Tylewicz, U. (2023). “Drying Technologies in Food Processing”. *Applied Sciences*, 13(19), 10597. <https://doi.org/10.3390/app131910597>
25. Nassar, A. G., AbdEl-Hamied, A. A., & El-Naggar, E. A. (2008). “Effect of citrus by-products flour incorporation on chemical, rheological and organoleptic characteristics of biscuits”. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(5), 612-616.
26. Gallegos-Garza, M. M., Aguilar-Pérez, S. A., Guzmán-Díaz, D. A., Báez-González, J., Alanis-Guzmán, G., y Amaya-Guerra, C. A. (2018). “Caracterización tecnofuncional de harinas obtenidas de la cáscara y semillas de pepino (*Cucumis sativus*) y su aplicación en un alimento funcional”. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 602-606.
27. Moon, K. M., Kwon, E., Lee, B., & Kim, C. Y. (2020). “Recent Trends in Controlling the Enzymatic Browning of Fruit and Vegetable Products”. *Molecules*, 25(12), 2754. <https://doi.org/10.3390/molecules25122754>
28. Culetu, A., Susman, I. E., Duta, D. E., & Belc, N. (2021). “Nutritional and Functional Properties of Gluten-Free Flours”. *Applied Sciences*, 11(14), 6283. <https://doi.org/10.3390/app11146283>

29. Juszczak, L., Witczak, M., & Ziobro, R. (2020). "Effect of Citrus Fiber on the Rheological Properties of Dough and Quality of Gluten-Free Bread". *Applied Sciences*, 10(19), 6633. <https://doi.org/10.3390/app10196633>
30. Huang, X., Chen, Y., Cai, Z., & Liu, F. (2023). "Functional properties of citrus by-products: Water holding capacity and oil absorption capacity". *Foods*, 12(5), 1234. <https://doi.org/10.3390/foods12051234>
31. Li, H., Liu, X., Ma, Y., Liu, Y., & Hou, J. (2022). "Comparison and Characterization of the Structure and Physicochemical Properties of Three Citrus Fibers: Effect of Ball Milling Treatment". *Foods*, 11(17), 2665. <https://doi.org/10.3390/foods11172665>
32. Bugarín, R., & Gómez, M. (2023). "Can Citrus Fiber Improve the Quality of Gluten-Free Breads?". *Foods*, 12(7), 1357. <https://doi.org/10.3390/foods12071357>
33. Jiang, S. C., Engle, N. L., Banday, Z. Z., Cecchini, N. M., Jung, H. W., Tschaplinski, T. J., & Greenberg, J. T. (2021). "ALD1 accumulation in Arabidopsis epidermal plastids confers local and non-autonomous disease resistance". *Journal of Experimental Botany*, 72(7), 2710-2726. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa609>
34. Xu, Y., Zhang, W., & Li, G. (2019). "Blanching effects on chemistry, quality and structure of green beans". *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(6), e14127. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14127>
35. Wen, J., Gu, Q., Wu, J., Yu, Y., Xu, Y., Fu, M., & Lin, X. (2021). "Evaluation of the Structural, Physicochemical and Functional Properties of Dietary Fiber Extracted from Newhall Navel Orange By-Products". *Foods*, 10(11), 2772. <https://doi.org/10.3390/foods10112772>
36. Hincapié Llanos, C., Arias Gómez, Z., & Vélez Acosta, L. (2021). "Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa". *Revista Lasallista de Investigación*, 7(2), 85-93. ISSN: 1794-4449. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69519014010>
37. López-Sánchez, P., Gidley, M. J., & Gilbert, E. P. (2020). "Dietary fiber and its interactions with water: A review". *Food Hydrocolloids*, 105, 105846. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105846>