

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Evaluación del potencial de la masa madre a base de harina de chícharo para la elaboración de un producto de panificación tipo hogaza

Evaluation of the potential of pea flour-based sourdough to produce a loaf-type bakery product.

Authors/Autores: López-Domínguez, Y.G., González-Juárez, N., Altamirano-Medina, N.P., Cano-Gómez, C.I., Wong-Paz, J.E.

ID: e1664

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1664>

Received/Fecha de recepción: May 06th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: July 30th 2025

Available online/Fecha de publicación: August 18th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: López-Domínguez, Y.G., González-Juárez, N., Altamirano-Medina, N.P., Cano-Gómez, C.I., Wong-Paz, J.E. (2025). Evaluation of the potential of pea flour-based sourdough to produce a loaf-type bakery product. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1664. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1664>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Evaluación del potencial de la masa madre a base de harina de chícharo para la elaboración de un producto de panificación tipo hogaza

Evaluation of the potential of pea flour-based sourdough to produce a loaf-type bakery product.

López Domínguez, Y.G.¹⁺, González Juárez, N.¹⁺, Altamirano Medina, N.P.¹, Cano-Gómez, C.I.^{2}, Wong-Paz, J.E.²*

¹Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 46. Carretera Valles - Tampico, Km 1, Fraccionamiento Cecyt. C.P. 79098, Ciudad Valles, San Luis Potosí, México.

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca. Calle Romualdo del Campo No. 501, Fracc. Rafael Curiel. C.P. 79060, Cd. Valles, San Luis Potosí, Mexico. ⁺These authors contributed equally to this work.

***Corresponding Author:**

Christian Iván Cano-Gómez. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca. Calle Romualdo del Campo No. 501, Fracc. Rafael Curiel. C.P. 79060, Cd. Valles, San Luis Potosí, Mexico. E-mail: christian.cano@uaslp.mx

RESUMEN

Este estudio investiga la viabilidad y los beneficios de la harina de chícharo en la fermentación de masa madre, destacando su potencial como alternativa sostenible y nutritiva para la panificación. Se monitoreó la cinética de crecimiento de bacterias ácido lácticas y levaduras, observando un patrón de crecimiento exponencial seguido de estancamiento logístico, lo que señala una exitosa adaptación al medio fermentativo. Los análisis proteicos demostraron que la masa madre de chícharo tiene un contenido proteico superior al de la masa madre de trigo, resaltando su capacidad para enriquecer nutricionalmente los productos de panadería. Los resultados sugieren que la masa madre de chícharo mejora significativamente el valor nutricional del pan, aportando mayor nivel de proteínas. En conclusión, la harina de chícharo ofrece una alternativa viable a la harina de trigo en la elaboración de pan, con implicaciones importantes para la innovación alimentaria. Se recomienda futura investigación para optimizar las condiciones de fermentación y explorar el impacto de diferentes cepas microbianas, abriendo camino para aplicaciones más amplias en alimentos fermentados.

PALABRAS CLAVE:

Pisum sativum, masa madre, fermentación, cinetica de crecimiento.

ABSTRACT

This study investigates the viability and benefits of pea flour in sourdough fermentation, highlighting its potential as a sustainable and nutritious alternative for baking. The growth kinetics of lactic acid bacteria and yeasts were monitored, showing an exponential growth pattern followed by logistic stagnation, indicating successful adaptation to the fermentative medium. Protein analyses demonstrated that pea flour-based sourdough has a higher protein content than wheat-based sourdough, emphasizing its ability to enrich bakery products nutritionally. The results suggest that pea sourdough significantly enhances the nutritional value of bread, providing a higher protein level. In conclusion, pea flour offers a viable alternative to wheat flour in bread-making, with significant implications for food innovation. Future research is recommended to optimize fermentation conditions and investigate the effects of various microbial strains, thereby paving the way for broader applications in fermented foods.

KEY WORDS:

Pisum sativum, sourdough, fermentation, growth kinetics.

Introducción

Los chícharos (*Pisum sativum*) contienen una variedad de compuestos beneficiosos para la salud que pueden ser optimizados a través de procesos biotecnológicos para maximizar sus efectos, entre estos compuestos se destacan los flavonoides, fenoles, saponinas, taninos y terpenoides, conocidos por sus propiedades antioxidantes y anticancerígenas (Priya *et al.*, 2018). Además, los chícharos contienen compuestos fitoquímicos como vitaminas, minerales y fibras, así como compuestos fenólicos que contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas como ciertos tipos de cáncer, diabetes, aterosclerosis e hipertensión (Aguayo-Giménez, 2019). Su perfil proteico es especialmente valioso, ya que estas leguminosas son ricas en aminoácidos esenciales, particularmente lisina, lo cual complementa las deficiencias de dietas basadas en cereales (Wu *et al.*, 2023).

La fermentación es un proceso bioquímico en el que microorganismos como bacterias y levaduras transforman los componentes del alimento bajo condiciones anaeróbicas o microaerofílicas, dependiendo del tipo de fermentación (láctica, alcohólica, acética, entre otras). Durante este proceso, los microorganismos descomponen carbohidratos complejos y liberan compuestos bioactivos, mejorando la biodisponibilidad de nutrientes esenciales y aumentando la concentración de antioxidantes. En el caso de la fermentación con bacterias ácido-lácticas, se produce no solo CO₂, sino también ácido láctico y acético, compuestos clave para el perfil sensorial del producto final (Devi *et al.*, 2020). En el caso de los chícharos, la fermentación no solo optimiza su perfil nutricional, sino que también potencia sus propiedades prebióticas y funcionales, haciendo de estos un ingrediente versátil para la creación de productos innovadores en la industria alimentaria, presentándose como un método transformador capaz de potenciar las cualidades nutricionales de los chícharos y contribuir significativamente a la innovación en la producción de alimentos (Montemurro *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2020).

En este contexto, la masa madre a base de chícharo emerge como una alternativa con gran potencial para enriquecer el valor nutricional y funcional de los alimentos fermentados. Este interés se funda en la relevancia del pan en la dieta global. A nivel mundial, el consumo de pan varía significativamente entre países, influenciado por factores culturales, económicos y alimentarios propios de cada región. En México, el consumo per cápita anual de pan es de aproximadamente 33.5 kilogramos por persona, con el 75 % correspondiente al pan blanco y el resto a pan dulce, galletas y pasteles (Secretaría de Economía, 2017). La masa madre es considerada el método más antiguo de fermentación del pan, con orígenes que se remontan al antiguo Egipto alrededor del año 2000 a.C. Este proceso no solo aportaba mejor sabor y textura al pan, sino que también tenía efectos beneficiosos para la salud, como la mejora de la salud gastrointestinal gracias a las bacterias lácticas

probióticas presentes en la masa madre (Lau *et al.*, 2021). Un estudio reciente resaltó que la fermentación de la masa madre mejora la vida útil, el sabor, la estructura de la miga y las propiedades sensoriales del pan, todo esto sin la necesidad de aditivos industriales, lo cual posiciona al pan de masa madre como un producto más natural y saludable (Kezer, 2022).

A pesar de las ventajas del trigo, la búsqueda de alternativas más saludables es imperativa. El trigo, aunque esencial en la dieta mexicana, puede tener efectos adversos en la salud de ciertos grupos de población, incluyendo problemas inmunorreactivos y una menor absorción de minerales importantes debido a los fitatos presentes en el trigo que se unen a minerales como el hierro (Fe) y el zinc (Zn), formando complejos insolubles que limitan su absorción en el tracto digestivo humano (Banderas, 2012; Lemmens *et al.*, 2019). En contraste, el chícharo, una leguminosa rica en nutrientes, se destaca por su alto contenido en fibra dietética, proteínas y minerales, ofreciendo un perfil nutricional superior al de muchos cereales. Esta ventaja nutricional se debe a su naturaleza leguminosa, que proporciona una mayor concentración de aminoácidos esenciales, así como una mejor biodisponibilidad de ciertos minerales en comparación con los cereales tradicionales (Chaudhary *et al.*, 2018; Kaigorodova *et al.*, 2022; Kumari & Deka, 2021; Nosworthy *et al.*, 2017). La harina de chícharo, se postula como un ingrediente ideal para el desarrollo de productos alimenticios innovadores y saludables. Este ingrediente no solo promete efectos antioxidantes y antihipertensivos, sino que también podría mejorar la regulación de la microbiota intestinal, entre otras propiedades funcionales (Wu *et al.*, 2023). Con ello, la harina de chícharo se erige como una alternativa valiosa a la harina de trigo en la elaboración de masas madre, ofreciendo una oportunidad para desarrollar alimentos que respondan a las demandas de salud y sostenibilidad de la población actual.

El potencial transformador de los chícharos en la industria alimentaria ha sido subrayado por investigaciones previas, incluidas aquellas realizadas en la Universidad Autónoma del Estado de México y otros estudios que exploran su aplicación en diversos productos alimenticios, como productos horneados y alimentos para mascotas (Nosworthy *et al.*, 2017). Por tanto, el presente estudio se enfoca en evaluar la viabilidad de una masa madre a base de chícharo, con el objetivo de desarrollar un alimento con alto valor proteico, beneficioso para la salud y accesible para la mayoría de la población.

Material y Métodos

Obtención de materia prima

Se adquirieron chícharos deshidratados en un mercado local ubicado en Ciudad Valles, S.L.P. (noviembre, 2022), estos fueron sometidos a un proceso de molienda utilizando un triturador de alimentos para obtener un producto finamente molido. La harina resultante de la molienda fue tamizada para obtener un tamaño de partícula < 1 mm. Posteriormente la harina se conservó a temperatura ambiente en bolsas con sellos hermético.

Proceso de fermentación

Se preparó una masa madre mezclando una proporción del 50 % de harina de chícharo y 50 % de agua potable, en un recipiente de vidrio previamente esterilizado. La fermentación inicial se llevó a cabo en condiciones de oscuridad a una temperatura de 27 ± 5 °C durante 24 horas. Posteriormente, la masa madre se alimentó diariamente agregando harina de chícharo y agua en una proporción de 1:1 (p/p). Se incorporó la harina y el agua de forma manual, mezclando suavemente con una espátula estéril hasta obtener una masa homogénea. Este proceso se realizó a la misma hora cada día, asegurando condiciones consistentes de fermentación.

Cinética de crecimiento de la masa madre

Se obtuvo una muestra de 1 g de masa madre a partir del día 1 de fermentación, y de manera subsiguiente cada dos días (hasta el día 7). Esta muestra se diluyó inicialmente en 9 mL de solución de agua peptonada al 0.1 % con un pH de 7.0 ± 0.1 , generando una dilución primaria de 10^{-1} . A partir de esta, se efectuaron diluciones decimales sucesivas hasta alcanzar una concentración final de 10^{-5} . En cada etapa, se aseguró una homogeneización adecuada utilizando una agitación manual constante con una espátula estéril durante aproximadamente 2 a 3 minutos, hasta obtener una mezcla homogénea sin grumos visibles de la mezcla. Se tomó 1 mL de cada dilución para su inoculación en placas de agar papa dextrosa (PDA), las cuales se incubaron a una temperatura de 28 °C durante un periodo de 3 a 5 días. Igualmente, se procedió con la inoculación en placas de agar Man, Rogosa y Sharpe (MRS), incubándolas a 37 °C durante 2 días. El recuento de bacterias y levaduras se llevó a cabo utilizando un contador de colonias de campo oscuro.

Determinación de pH

La medición del pH se realizó utilizando un potenciometro digital calibrado previamente. Se tomaron aproximadamente 5 gramos de la masa madre en fermentación y se diluyeron en 25 ml de agua destilada estéril, asegurando una relación masa-agua de 1:5. La mezcla se homogenizó mediante agitación suave con una espátula estéril durante 2-3 minutos. Posteriormente, se introdujo el electrodo del pH-metro directamente en la suspensión y se registró el valor de pH. Este proceso se repitió diariamente, a la misma hora, para monitorear de manera consistente las variaciones del pH durante todo el proceso de fermentación.

Análisis del nivel proteico

Para realizar un análisis comparativo con respecto a una harina convencional, se elaboró una masa madre de trigo siguiendo el mismo protocolo empleado para la masa madre de chícharo, a fin de establecer una base de comparación estandarizada. En el ensayo de determinación proteica por el método Kjeldahl, se procedió a tomar una muestra de 0.5 g de cada tipo de masa madre, a la cual se adicionaron 5.5 g del catalizador Kjeldahl (10 % CuSO_4 , 90 % K_2SO_4) al tubo de digestión con 11 mL de ácido sulfúrico concentrado. La mezcla se dirigió en un bloque de digestión con un colector de humos a 370 °C – 400 °C durante 40 - 60 minutos. Tras la digestión, la muestra se destiló durante 150 s utilizando el sistema Kjeldahl (Buchi B-324, Suiza) añadiendo 60 ml de ácido bórico al 4 % y se valoró con una solución de HCl 0.0837 N para cuantificar el nitrógeno (N) recogido en el ácido bórico. Se midió la cantidad de amoníaco destilado de la solución digestiva y, a continuación, se determinó el nivel de nitrógeno de la proteína (ecuación 1). La cantidad de proteína se calculó a partir de la concentración de nitrógeno de la masa madre, a partir de la ecuación 2 (Kozin *et al.*, 2022).

$$\%N = \frac{(HCl \text{ muestra} - HCl \text{ blanco}) \times N_{HCl} \times F \times 14 \times 100}{g \text{ muestra} \times 1000} \dots (1)$$

$$\%Proteína = (\%N)(6.25) \dots (2)$$

Proceso de panificación

Se elaboró un producto de panificación tipo hogaza utilizando masa madre de chícharo. Se integraron 80 g de masa madre con 250 g de harina de chícharo, 5 g de sal y 160 mL de agua. La mezcla se homogeneizó y se amasó utilizando un método envolvente. Este proceso de amasado se dejó reposar durante 30 minutos y se repitió tres veces. Luego, la masa se fermentó en refrigeración a una temperatura de 2 – 8 °C durante 15 a 18 horas. Tras este periodo, la masa se dejó reposar a temperatura ambiente para aclimatarse. El horno se precalentó a 180 °C y se mantuvo esta misma temperatura durante todo el proceso de cocción. El pan se colocó en un molde de acero inoxidable previamente engrasado y se cubrió con una tapa durante la primera fase de horneado. Para generar vapor y mejorar la textura de la corteza, se introdujo una bandeja con agua en la parte inferior del horno durante los primeros 30 minutos. Posteriormente, se retiró la bandeja de agua y se continuó

el horneado sin tapa durante 30 minutos adicionales, permitiendo que la superficie del pan desarrollara una corteza crujiente.

Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Los datos obtenidos se expresaron como la media $\pm$ desviación estándar (SD). Los resultados del crecimiento se evaluaron utilizando la ecuación de Gompertz, las variaciones en el pH se analizaron mediante un ANOVA unifactorial con post-prueba de Tukey, a su vez los datos obtenidos del análisis de nivel proteico fueron sometidos a una prueba t de Student, empleando para los análisis el software estadístico Prism 9.

Resultados y Discusión

Cinética de crecimiento durante la fermentación

En la Figura 1 se observa un crecimiento exponencial de las bacterias ácido-lácticas (LAB) y levaduras, seguido de una fase estacionaria, con una capacidad de crecimiento máximo (YM) de 19.71 para las LAB y 13.15 para las levaduras. Aunque el mayor crecimiento de las levaduras se alcanzó durante los primeros 3 días de fermentación, en el caso de las bacterias ácido-lácticas, su máximo crecimiento se observó hasta el quinto día. Cabe destacar que la fase de adaptación ("lag phase") fue prácticamente inexistente para ambos microorganismos, lo cual sugiere una rápida adaptación al medio fermentativo de la masa madre. En términos de la tasa de crecimiento específico (k), la Tabla 1 ilustra que las levaduras, con un k de 1.552, superaron a las LAB, que tuvieron un k de 0.5158. Este ritmo acelerado de las levaduras sugiere una mayor producción de CO₂, esencial para la creación de alveolos en la masa madre, lo que influye directamente en la textura porosa del pan, además de facilitar la formación de sabores más complejos y promover el leudado (Pico *et al.*, 2015). Las LAB, aunque crecen a un ritmo más lento, son fundamentales en el proceso de acidificación, aportando al sabor característico del pan mediante la producción de ácido láctico y/o acético (De Vuyst *et al.*, 2021; Gänzle, 2015). En este estudio se utilizó un modelo predictivo para evaluar la cinética de crecimiento de las LAB y las levaduras en la masa madre de chicharo. Modelos matemáticos, como el de Gompertz, Baranyi y Vázquez-Murado, son comúnmente empleados para describir las diferentes fases del crecimiento microbiano (lag, exponencial, estacionaria y muerte) (García *et al.*, 2021). Estos resultados subrayan la potencialidad de la masa madre a base de harina de chicharo para la innovación en productos de panificación, enfatizando la importancia de explorar y optimizar las condiciones de fermentación y composición de la masa para maximizar los beneficios nutricionales y organolépticos del pan resultante.

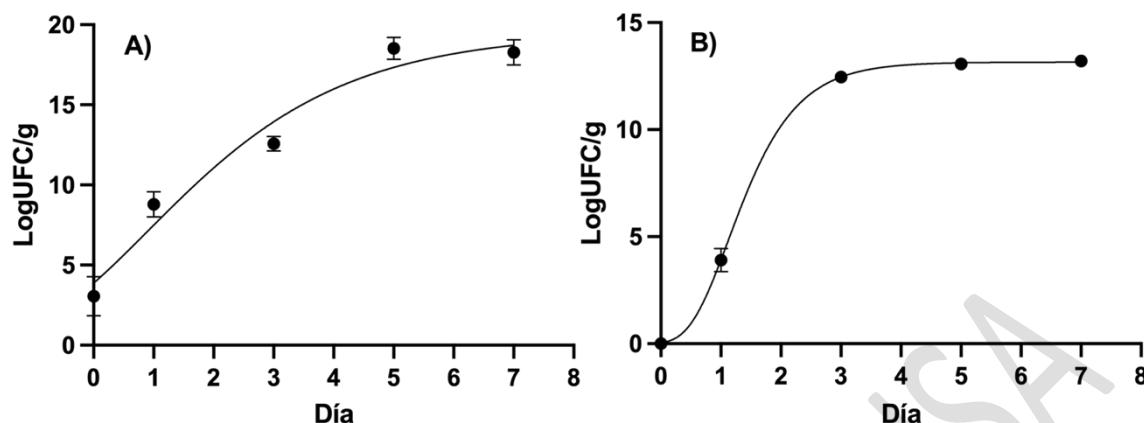


Fig. 1. Cinética de crecimiento microbiológico de la masa madre. Los valores representan la media $\pm$ SD (n=3) (A) LAB. (B) Levaduras.

Tabla 1. Valores de la cinética de crecimiento (n=3).

Muestra	Capacidad máxima de crecimiento (YM)	Biomasa inicial (Y0)	Tasa de crecimiento específica (k)	R ²
LAB	19.71 $\pm$ 2.28	3.550 $\pm$ 1.00	0.5158 $\pm$ 0.17	0.9192
Levaduras	13.15 $\pm$ 0.15	0.04290 $\pm$ 0.04	1.552 $\pm$ 0.21	0.9988

Variaciones del pH durante la fermentación

La Figura 2 revela diferencias significativas en el pH durante los primeros tres días de fermentación en comparación con los días subsecuentes, donde el pH inicial de 6.4 disminuye notoriamente, estabilizándose alrededor de 4.2 en el día 7. Este patrón denota una etapa inicial moderada de acidificación, seguida por una fase más intensiva y estable hacia el final del período observado. La disminución en el pH de la masa madre a base de harina de chícharo es consistente con lo observado en masas madre de trigo, donde el pH final puede alcanzar valores por debajo de 4.0 tras 72 horas de fermentación (Martorana *et al.*, 2018). Este cambio refleja una acidificación progresiva, coincidiendo con la tasa de crecimiento de LAB y levaduras discutidas anteriormente. Conforme las LAB metabolizan los azúcares, producen ácido láctico, bajando el pH de la masa (De Vuyst *et al.*, 2017), y esta acidificación es crítica para la calidad del pan, afectando tanto la textura como el sabor (Gänzle, 2015). El descenso en el pH tiene un impacto directo en los componentes estructurales de la masa, incluyendo el almidón y los arabinoxilanos, alterando sus propiedades de gelatinización y reticulación, y por ende, la textura del pan resultante (Delcour, 2010). Estudios recientes han demostrado que valores de pH más bajos pueden influir significativamente en la estabilidad de la masa, ya que requieren tiempos de mezcla más cortos y pueden reducir su estabilidad estructural. Un ambiente ácido incrementa la carga neta positiva, lo cual mejora la solubilidad de las proteínas y modifica la reología de la masa, favoreciendo su capacidad de emulsificación y estabilidad en productos horneados (Li *et al.*, 2022). Además, la acidificación de la masa durante la fermentación activa las enzimas presentes, como las proteasas, que tienen un óptimo de actividad a pH ácido. Esto contribuye al aumento de aminoácidos libres y, en consecuencia, potencia el perfil sensorial del pan, mejorando tanto su sabor como su textura (Kitaevskaya & Reshetnik, 2020). Asimismo, la disminución del pH no solo facilita la activación de proteasas, sino que también mejora la digestibilidad de las proteínas, lo cual es fundamental para

desarrollar sabores complejos y una textura adecuada en productos panificados (Zhang *et al.*, 2019). La disminución significativa del pH observada en la fermentación de masa madre a base de harina de chícharo refleja la actividad metabólica intensa de las LAB y tiene implicaciones importantes para las propiedades reológicas de la masa y, por consiguiente, para la calidad del pan producido. La comprensión de estos mecanismos y su impacto en la fermentación de masas madre con harinas alternativas, como la de chícharo, abre nuevas posibilidades para el desarrollo de productos panificados con características mejoradas y diferenciadas.

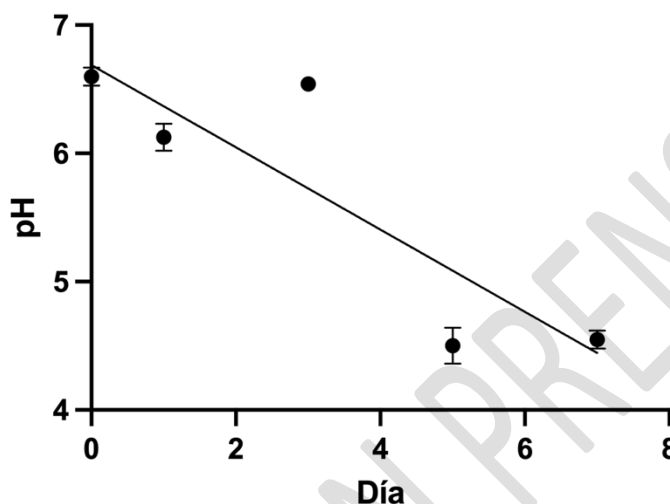


Fig. 2. Disminución del pH durante la fermentación. Los valores representan la media $\pm$ SD (n=3)

Análisis comparativo del contenido proteico en masas madres

El análisis comparativo del contenido proteico entre las masas madres hechas de harina de chícharo y de trigo, ilustrado en la Figura 3, exhibe una diferencia significativa en sus perfiles proteicos. La masa madre de chícharo mostró un contenido proteico del 4.8 %, que es superior al 4 % de la masa madre de trigo. Esta diferencia fue estadísticamente significativa según la prueba t de Student, sugiriendo una aportación proteica mayor de la masa madre a base de chícharo.

La relevancia de esta mayor concentración de proteínas en la masa madre de chícharo, aparte de mejorar el perfil nutricional del pan final, puede influir en sus características sensoriales y de textura. Las proteínas desempeñan un rol fundamental en la formación de la estructura del pan durante la fermentación y el horneado (Wu *et al.*, 2023). La proteólisis durante la fermentación de masa madre, estimulada por las bacterias ácido-lácticas (LAB) y las levaduras, proporciona precursores para la generación de compuestos volátiles aromáticos, mejorando el sabor del pan. Estudios recientes han demostrado que la actividad proteolítica de *Levilactobacillus brevis* y *Fructilactobacillus sanfranciscensis* libera péptidos y compuestos volátiles que enriquecen el perfil sensorial del pan (Reale *et al.*, 2021). Además, la red de gluten en las masas de trigo se ve afectada por la acidez, lo que puede reducir su elasticidad y firmeza (Schober *et al.*, 2003). La disponibilidad aumentada de proteínas en la masa madre de chícharo podría favorecer una proteólisis más eficiente, mejorando potencialmente el sabor y la textura del pan. El alto contenido de aminoácidos esenciales como la lisina en la proteína de chícharo ofrece una alternativa nutricionalmente superior a la de trigo, complementando las deficiencias típicas en las dietas basadas en cereales (Wu *et al.*, 2023). Las propiedades promotoras de salud del chícharo, incluyendo efectos antioxidantes, anti-diabéticos y anti-hipertensivos, y la regulación de la microbiota intestinal, también se añaden al valor nutricional de la masa madre a base de chícharo (Wu *et al.*, 2023). Este incremento en el contenido proteico en la masa madre de chícharo tiene implicaciones nutricionales y funcionales positivas, prometiendo una mejora en la calidad nutricional del pan. Investigaciones futuras deberán enfocarse

en la optimización de las condiciones de fermentación y procesamiento para maximizar los beneficios de salud y nutricionales, al tiempo que minimizan los riesgos de alergias alimentarias.

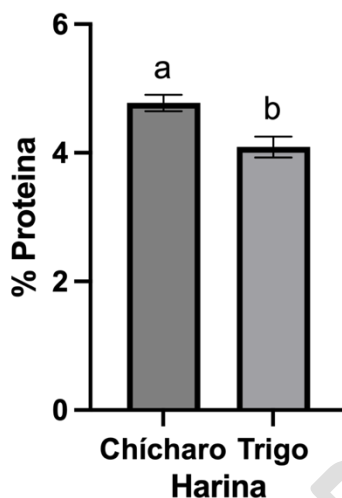


Fig. 3. Comparación del % de proteína entre la harina de chícharo y la de trigo. Los valores representan la media $\pm$ SD (n=3).

Aplicación de la masa madre en la elaboración de pan tipo hogaza

La Figura 4 ilustra la transformación de la masa madre a un pan tipo hogaza, destacando dos fases del proceso de panificación: la masa madre en su estado inicial y el pan finalizado. La masa madre de chícharo muestra una estructura con burbujas visibles, indicativas de actividad fermentativa. En contraste, el pan terminado presenta una corteza uniforme y color homogéneo. La evaluación visual refleja que la masa madre de chícharo alcanza un estado de fermentación adecuado para la elaboración de pan tipo hogaza. La formación de gas evidente en la masa madre es un indicativo de la actividad de las levaduras y bacterias ácido lácticas, que se correlaciona con la acidificación progresiva y la cinética de crecimiento observadas en discusiones anteriores, donde se destacó la disminución del pH a lo largo de la fermentación (Sánchez-Aceves, 2014). Este proceso de acidificación es crucial para el desarrollo de la estructura del pan, influyendo en la reticulación del gluten, factores determinantes en la textura final del producto (González-Montemayor *et al.*, 2021). Además, el uso de harina de chícharo contribuye al valor nutricional del pan, proporcionando una fuente rica en proteínas, influyendo positivamente en la calidad nutricional del pan y potencialmente en la percepción sensorial del producto final (Nishinari *et al.*, 2013). La sustitución de harina de trigo por harina de chícharo representa una estrategia viable para mejorar la calidad nutricional de los productos de panadería, compensando deficiencias de aminoácidos (González-Montemayor *et al.*, 2021).

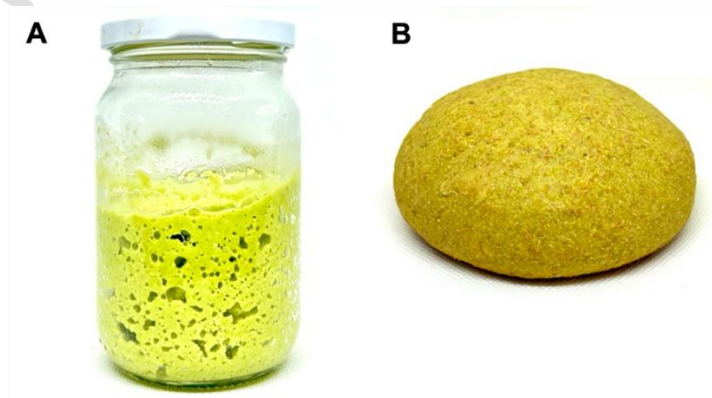


Fig. 4. Producción de masa madre y su transformación en pan. (A) Masa madre de guisantes. (B) Pan de hogaza

Conclusiones

Este estudio ha evidenciado la factibilidad técnica de utilizar masa madre a base de harina de chícharo para la elaboración de productos de panificación, en particular pan tipo hogaza. La cinética de crecimiento de los microorganismos en la masa madre de chícharo indica una adaptación y proliferación adecuadas de las LAB y las levaduras, favoreciendo un proceso fermentativo eficaz evidenciado por una acidificación progresiva que contribuye al sabor distintivo del pan hecho con masa madre. Los resultados obtenidos confirman que la harina de chícharo es una alternativa viable y eficiente para la fermentación de masa madre, ofreciendo el enriquecimiento en contenido de proteínas en comparación con la masa madre convencional de trigo. Este estudio respalda la hipótesis de que la harina de chícharo puede ser una alternativa a la harina de trigo en la panificación, abordando las preocupaciones actuales sobre la salud y nutrición en la producción de alimentos. Se recomienda realizar investigaciones futuras centradas en optimizar las condiciones de fermentación y procesamiento para maximizar los beneficios nutricionales y organolépticos de la masa madre a base de chícharo. Además, sería beneficioso explorar el impacto de diversas cepas de LAB y levaduras en la fermentación de la harina de chícharo, así como investigar las posibles aplicaciones de este tipo de masa madre en una gama más amplia de productos alimenticios fermentados, así como la realización de un análisis sensorial para evaluar de manera práctica la influencia de la harina de chícharo en la percepción sensorial del pan elaborado con masa madre, permitiendo cuantificar y validar las mejoras potenciales en atributos como el sabor, la textura y el aroma. La inclusión de estos ensayos contribuiría a confirmar la aceptabilidad del producto final por parte de los consumidores y fortalecería la evidencia sobre las ventajas funcionales y organolépticas de la sustitución parcial del trigo con harina de chícharo.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, N.P.A.M, J.E.W.P, C.I.C.G.; desarrollo de la metodología, Y.G.L.D, N.G.J; manejo de software, C.I.C.G; validación experimental, N.P.A.M, J.E.W.P, C.I.C.G.; análisis de resultados, Y.G.L.D, N.G.J; Manejo de datos, Y.G.L.D, N.G.J.; escritura y preparación del manuscrito, Y.G.L.D, N.G.J; redacción, revisión y edición, J.E.W.P, C.I.C.G.; “Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.”

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos propios.

Agradecimientos

Los autores agradecen al BQ. Carlos Román Vega por su asistencia técnica.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

Aguayo-Giménez, E. (2019). Promoción del consumo de fruta de hueso por su riqueza funcional. *Agricultural and Food Sciences, Medicine*, 68–79.

- Bandaras, B. M. J. (2012). *Análisis proximal de los principales componentes nutricionales de arroz pulido, harina de trigo de flor, maíz amarillo y papa chola*. QUITO / PUCE / 2012. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/20939>
- Chaudhary, A., Marinangeli, C. P. F., Tremorin, D., & Mathys, A. (2018). Nutritional Combined Greenhouse Gas Life Cycle Analysis for Incorporating Canadian Yellow Pea into Cereal-Based Food Products. *Nutrients*, 10(4), 490. <https://doi.org/10.3390/NU10040490>
- De Vuyst, L., Comasio, A., & Kerrebroeck, S. Van. (2021). Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(15), 2447-2479 <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100>
- De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., & Leroy, F. (2017). Microbial Ecology and Process Technology of Sourdough Fermentation. *Advances in Applied Microbiology*, 100, 49–160. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2017.02.003>
- Delcour, J. A. (2010). Structure of Cereals. *Principles of Cereal Science and Technology, Third Edition*, 1–22. <http://dx.doi.org/10.1094/9781891127632.001>
- Devi, T. S., Prabina, B. J., Gomathy, M., & Kumutha, K. (2020). Isolation and Characterization of Lactic acid bacteria from homemade fermented foods for probiotic applications. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(2), 1355–1362. <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2020.902.158>
- Gänzle, M. G. (2015). Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. *Current Opinion in Food Science*, 2, 106–117. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2015.03.001>
- Garcia, B. E., Rodriguez, E., Salazar, Y., Valle, P. A., Flores-Gallegos, A. C., Rutiaga-Quñones, M., & Rodriguez-Herrera, R. (2021). Primary Model for Biomass Growth Prediction in Batch Fermentation. *Symmetry*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/SYM13081468>
- González-Montemayor, A.M., Solanilla-Duque, J.F., Flores-Gallegos, A.C., López-Badillo, C.M., Ascacio-Valdés, J.A., & Rodríguez-Herrera, R. (2021). Green Bean, Pea and Mesquite Whole Pod Flours Nutritional and Functional Properties and Their Effect on Sourdough Bread Citation. *Foods*, 10(9), 2227. <https://doi.org/10.3390/foods10092227>
- Kaigorodova, I. M., Ushakov, V. A., Golubkina, N. A., Kotlyar, I. P., Pronina, E. P., & Antoshkina, M. S. (2022). Nutritional value, quality of raw materials and food value of vegetable pea culture (*Pisum sativum* L.). *Vegetable Crops of Russia*, 3, 16–32. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32>
- Kezer, G. (2022). Functional Perspective on Sourdough Bread. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(8), 1410–1414. <https://doi.org/10.24925/TURJAF.V10I8.1410-1414.4860>
- Kitaevskaya, S. V., & Reshetnik, O. A. (2020). Effects of low-temperature treatment on the activity of proteolytic enzymes in various flour types. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 10(3), 439–449. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-439-449>
- Kozin, A. V., Abramova, L. S., Guseva, E. S., & Derunets, I. V. (2022). Establishment of metrological parameters of the method for measuring the protein mass fraction in fish food

- products by the Kjeldahl method. *Food Systems*, 4(4), 239–245.
<https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-239-245>
- Kumari, T., & Deka, S. C. (2021). Potential health benefits of garden pea seeds and pods: A review. *Legume Science*, 3(2). <https://doi.org/10.1002/LEG3.82>
- Lau, S. W., Chong, A. Q., Chin, N. L., Talib, R. A., & Basha, R. K. (2021). Sourdough Microbiome Comparison and Benefits. *Microorganisms*, 9(7).
<https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS9071355>
- Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Garrevoet, J., Falkenberg, G., Smolders, E., & Delcour, J. A. (2019). Steeping and germination of wheat (*Triticum aestivum* L.). II. Changes in spatial distribution and speciation of iron and zinc elements using pearling, synchrotron X-ray fluorescence microscopy mapping and X-ray absorption near-edge structure imaging. *Journal of Cereal Science*, 90. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2019.102843>
- Li, J., Shi, A., Liu, H., Hu, H., Wang, Q., Adhikari, B., Jiao, B., & Pignitter, M. (2022). Effect of Hydrothermal Cooking Combined with High-Pressure Homogenization and Enzymatic Hydrolysis on the Solubility and Stability of Peanut Protein at Low pH. *Foods*, 11(9).
<https://doi.org/10.3390/FOODS11091289>
- Martorana, A., Giuffrè, A. M., Capocasale, M., Zappia, C., & Sidari, R. (2018). Sourdoughs as a source of lactic acid bacteria and yeasts with technological characteristics useful for improved bakery products. *European Food Research and Technology*, 244(10), 1873–1885.
<https://doi.org/10.1007/S00217-018-3100-X/METRICS>
- Montemurro, M., Coda, R., & Rizzello, C. G. (2019). Recent advances in the use of sourdough biotechnology in pasta making. *Foods*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/FOODS8040129>
- Nishinari, K., Kohyama, K., Kumagai, H., Funami, T., & Bourne, M. C. (2013). Parameters of Texture Profile Analysis. *Food Science and Technology Research*, 19(3), 519–521.
<https://doi.org/10.3136/FSTR.19.519>
- Nosworthy, M. G., Tulbek, M. C., & House, J. D. (2017). Does the concentration, isolation, or deflavoring of pea, lentil, and faba bean protein alter protein quality? *Cereal Foods World*, 62(4), 139–142. <https://doi.org/10.1094/CFW-62-4-0139>
- Pico, J., Bernal, J., & Gómez, M. (2015). Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 75, 200–215.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2015.05.051>
- Priya, A., Umarani, & Chukwuebuka, E. (2018). In vitro Anticancer Activity of Pisum sativum Seed against Breast Cancer Cell Line (MCF-7). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6.
- Reale, A., Di Stasio, L., Di Renzo, T., De Caro, S., Ferranti, P., Picariello, G., Addeo, F., & Mamone, G. (2021). Bacteria do it better! Proteomics suggests the molecular basis for improved digestibility of sourdough products. *Food Chemistry*, 359.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129955>
- Sánchez-Aceves, L. M. (2014). Inclusión de proteína de chícharo en el desarrollo de alimentos funcionales de panificación (pan de caja). <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/14732>

Schober, T. J., O'Brien, C. M., McCarthy, D., Darnedde, A., & Arendt, E. K. (2003). Influence of gluten-free flour mixes and fat powders on the quality of gluten-free biscuits. *European Food Research and Technology*, 216(5), 369–376. <https://doi.org/10.1007/S00217-003-0694-3>

Secretaría de Economía. (2017, November 1). *Conoce más sobre la industria panificadora en México*. <https://www.gob.mx/se/articulos/conoce-mas-sobre-la-industria-panificadora-en-mexico>. <https://www.gob.mx/se/articulos/conoce-mas-sobre-la-industria-panificadora-en-mexico>

Song, D. H., Chun, B. H., Lee, S., Reddy, C. K., Jeon, C. O., & Lee, C. H. (2020). Metabolite Profiling and Microbial Community of Traditional Meju Show Primary and Secondary Metabolite Differences Correlated with Antioxidant Activities. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(11), 1697–1705. <https://doi.org/10.4014/JMB.2007.07026>

Wu, D. T., Li, W. X., Wan, J. J., Hu, Y. C., Gan, R. Y., & Zou, L. (2023). A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/FOODS12132527>

Wu, D.-T., Li, W.-X., Wan, J.-J., Hu, Y.-C., Gan, R.-Y., Zou, L. A., Wu, D.-T., Li, W.-X., Wan, J.-J., Hu, Y.-C., Gan, R.-Y., & Zou, L. (2023). A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*, 12(13), 2527. <https://doi.org/10.3390/FOODS12132527>

Zhang, Y., Zhou, X., Zhong, J., Tan, L., & Liu, C. (2019). Effect of pH on emulsification performance of a new functional protein from jackfruit seeds. *Food Hydrocolloids*, 93, 325–334. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.02.032>