



Rivar

REVISTA IBEROAMERICANA DE
VITICULTURA, AGROINDUSTRIA
Y RURALIDAD

Editada por el Instituto de Estudios Avanzados
Universidad de Santiago de Chile

MASA MADRE TIPO II CON CÁSCARA DE PIÑA: EFECTOS DE TEXTURA Y DE NUTRICIÓN



Type II sourdough with pineapple peel:

Texture and nutritional effects

Massa madre tipo II com casca de abacaxi:

Efeitos de textura e de nutrição

Joel Andrés Pareja Saldaña

Universidad del Valle

Tuluá, Colombia

ORCID [0009-0007-8424-2021](https://orcid.org/0009-0007-8424-2021)

joel.pareja@correounivalle.edu.co

Oscar Mauricio Manzano Grajales

Universidad del Valle

Tuluá, Colombia

ORCID [0009-0008-6709-9961](https://orcid.org/0009-0008-6709-9961)

oscar.manzano@correounivalle.edu.co

Alexis García Figueroa

Universidad del Valle

Tuluá, Colombia

ORCID [0000-0001-5036-2307](https://orcid.org/0000-0001-5036-2307)

alexis.garcia@correounivalle.edu.co

Cristina Ramírez Toro

Universidad del Valle

Cali, Colombia

ORCID [0000-0001-9762-5100](https://orcid.org/0000-0001-9762-5100)

cristina.ramirez@correounivalle.edu.co

Volumen 13, número 39, 179-195, abril 2026

ISSN 0719-4994

Artículo de investigación

<https://doi.org/10.35588/hmx91k86>

Recibido

8 de junio de 2025

Aceptado

8 de julio de 2025

Publicado

30 de abril de 2026

Cómo citar

Pareja Saldaña, J.A., Manzano Grajales, O.M., García Figueroa, A. y Ramírez Toro, C. (2026). Masa madre tipo II con cáscara de piña: Efectos de textura y de nutrición. *RIVAR*, 13(39), 179-195. <https://doi.org/10.35588/hmx91k86>

ABSTRACT

In baking, the textural and nutritional properties of bread are influenced by the type of leavening agent used, with sourdough being of particular interest due to its acidifying properties. This study employed a single-factor experimental design to evaluate the effect of adding pineapple peel flour at concentrations of 0, 12.5, 25, 37.5, and 50% on the acidity, pH, and counts of lactic acid bacteria and yeasts in type II sourdough prepared with *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*, as well as its impact on bread texture and nutritional composition through a texture profile analysis and fiber content determination. The results showed that incorporating 50% pineapple peel flour into the sourdough increased the acidity of the leavening agent by 40% compared to the control. Additionally, a fourfold increase in fiber content was observed in the final product ($4.05 \pm 0.05\%$). The texture profile analysis revealed no significant differences in chewiness, indicating the feasibility of using pineapple by-products as a functional ingredient in leavening agents.

KEYWORDS

Food industry, agricultural wastes, fermentation, nutrition, sourdough.

RESUMEN

En panificación, las propiedades texturales y nutricionales del pan son influenciadas por el tipo de agente leudante, siendo la masa madre una opción de interés por sus propiedades acidificantes. Esta investigación aplicó un diseño experimental de un solo factor con el objetivo de evaluar el efecto de la adición de harina de cáscara de piña en concentraciones de 0, 12,5, 25, 37,5 y 50% sobre la Acidez, pH y recuento de bacterias ácido lácticas y levaduras de masa madre tipo II, elaborada con *Lactiplantibacillus plantarum* y *Saccharomyces cerevisiae*, así como su impacto en la textura y composición nutricional del pan a través de un análisis de perfil de textura y determinación de contenido de fibra. Los resultados mostraron que la inclusión del 50% de harina de cáscara de piña en la masa madre incrementó la acidez del agente leudante en un 40% respecto al control. Asimismo, se observó un aumento de cuatro veces en el contenido de fibra en el producto final ($4,05 \pm 0,05\%$). El análisis de perfil de textura no evidenció diferencias significativas en la masticabilidad, lo que indica la viabilidad del uso de subproductos de piña como ingrediente funcional en agentes leudantes.

PALABRAS CLAVE

Industria alimentaria, desperdicio agrícola, fermentación, nutrición, masa madre.

RESUMO

Na panificação, as propriedades texturais e nutricionais do pão são influenciadas pelo tipo de agente fermentador utilizado, sendo o fermento natural (massa madre) uma opção de interesse devido às suas propriedades acidificantes. Este estudo utilizou um delineamento experimental de fator único com o objetivo de avaliar o efeito da adição de farinha de casca de abacaxi em concentrações de 0, 12,5, 25, 37,5 e 50% sobre a acidez, o pH e a contagem de bactérias ácido-láticas e leveduras em massa madre tipo II, elaborada com *Lactiplantibacillus plantarum* e *Saccharomyces cerevisiae*, bem como seu impacto na textura e composição nutricional do pão por meio de análise de perfil de textura e determinação do teor de fibras. Os resultados mostraram que a inclusão de 50% de farinha de casca de abacaxi na massa madre aumentou a acidez do agente fermentador em 40% em relação ao controle. Além disso, foi observado um aumento de quatro vezes no teor de fibras no produto final ($4,05 \pm 0,05\%$). A análise do perfil de textura não evidenciou diferenças significativas na mastigabilidade, indicando a viabilidade do uso de subprodutos do abacaxi como ingrediente funcional em agentes fermentadores.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria alimentícia, resíduos agrícolas, fermentação, nutrição, massa azeda.

Introducción

Los agentes leudantes son sustancias empleadas en la elaboración del pan con el propósito de incorporar burbujas de gas en la masa, lo que aporta suavidad e incrementa el volumen del producto terminado. La masa madre es un tipo de agente biológico elaborado a partir de una mezcla de harina y agua, la cual es fermentada por bacterias ácido lácticas y levaduras. La masa madre puede ser clasificada en cuatro categorías (Tipos I, II, III y IV). En el Tipo I, la fermentación ocurre de manera espontánea, mientras que en el tipo II la fermentación se produce tras la inoculación de cepas microbianas específicas. El Tipo III es una forma deshidratada de la masa madre tipo II y finalmente el tipo IV es una combinación de los Tipos I y II utilizada normalmente a escala de laboratorio (Siepmann et al., 2018). Con el propósito de mejorar las propiedades de las masas madre, la adición de residuos agroindustriales se ha convertido en una alternativa interesante debido a la presencia de azúcares simples, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos que influyen en el comportamiento de los microorganismos durante la fermentación (Arora et al., 2021). Los residuos agroindustriales de piña como la cáscara son de particular interés debido a las grandes cantidades generadas, por lo que un aprovechamiento sostenible de estos es necesario para disminuir su impacto ambiental, adicionalmente su composición rica en carbohidratos y en minerales, pueden mejorar el crecimiento microbiano (Polanía et al., 2023; Rivera et al., 2023).

Surge entonces la necesidad de determinar como la incorporación de este subproducto influencia la viabilidad de los microorganismos presentes en la masa madre y por consiguiente su capacidad acidificante y leudante, así como las posibles modificaciones en la textura y perfil nutricional del producto final. Por este motivo el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la incorporación de harina de cáscara de piña sobre las propiedades químicas (pH y acidez) y microbiológicas de masa madre, así como la influencia de esta sobre el contenido de fibra y las propiedades texturales del pan.

Materiales y métodos

Preparación de harina de cáscara de piña

Cáscaras de piña de la variedad MD-2 con grado de maduración 5 de acuerdo con la NTC 729-1 (ICONTEC, 1996) se obtuvieron del mercado local (Tuluá, Colombia). Estas fueron lavadas con agua potable y sanitizadas por inmersión en una solución de 50 ppm de hipoclorito de sodio durante dos minutos. Posteriormente las cáscaras fueron troceadas (aproximadamente 5 cm²) y secadas en estufa (Thelco Modelo 70DM, USA) a 70°C durante 24 horas hasta una humedad de 4,0 ± 0,3%. Posteriormente se realizó una reducción de tamaño y tamizado, empleando el material con un tamaño de partícula de 0.5-0.8 mm.

Preparación del inóculo iniciador

Los microorganismos empleados en la elaboración del inóculo iniciador fueron *Lactiplantibacillus Plantarum* (*L. Plantarum*) y *Saccharomyces Cerevisiae* (*S. Cerevisiae*), los cuales fueron donados por el grupo de investigación de Microbiología y Biotecnología Aplicada de la Universidad del Valle, Colombia.

La bacteria ácido láctica (BAL) fue identificada molecularmente por amplificación del gen ribosomal 16S mediante la técnica de PCR (Polymerase Chain Reaction) con un porcentaje de identidad del 99%, mientras que la levadura se caracterizó con una prueba de perfil bioquímico utilizando el kit API 20CAUX (bioMérieux SA, Francia) permitiendo una identificación del 99%.

La preparación del cultivo iniciador o inóculo se realizó de acuerdo con la metodología de Wang et al. (2022), con algunas modificaciones. Para determinar la concentración celular se inocularon cultivos individuales de crecimiento activo en matraces de tubo de ensayo, los cuales contenían 25 mL de caldo MRS (Scharlau, Barcelona, España) para BAL y una solución de melaza de caña a 27°Brix para levaduras; posteriormente se llevó a una incubadora (modelo IN-010 Gemmyco, Lesco, Colombia) durante 24 horas a 30°C, agitando a 150 RPM para el aumento celular. La biomasa se recuperó por centrifugación (5000 rpm, 15 min) (centrifuga modelo Dynac III Clay Adams, instrumentalía, Colombia) y se re suspendió en 50 mL de solución estéril.

Esta suspensión celular, que contenía 10^6 UFC/mL de *S. Cerevisiae* y 10^8 UFC/mL de la bacteria ácido-láctica (escala McFarland) fue mezclada con una proporción 1:1 de harina de trigo y agua (estéril) obteniendo una mezcla homogénea. posteriormente, se llevó a un frasco de vidrio cerrado (estéril) de una capacidad de 0.75 litros, incubándose a una temperatura de 30°C durante 24 horas, siendo este el inóculo iniciador para la elaboración de masa madre.

Elaboración de la masa madre Tipo II

Para evaluar el efecto de la adición de cascara de piña sobre las propiedades de la masa madre se empleó un diseño experimental de un solo factor (% adición de cascara de piña) con cinco niveles o tratamientos: 0%, 12,5%, 25%, 37,5% y 50%.

El porcentaje de harina de cascara de piña correspondiente fue añadido a la harina de trigo (Harinera del Valle, Colombia: 12% de proteína, $13,5 \pm 0,5\%$ humedad) con el fin de preparar una combinación de harinas, las cuales fueron mezcladas con agua en una proporción 1:1 y se añadió 10% p/p de inóculo iniciador. Las mezclas resultantes fueron ubicadas en frascos de vidrio estéril cerrado de una capacidad de 0.75 litros, a una temperatura de 30°C durante 72 horas. Los cinco tratamientos fueron realizados por triplicado para un total de quince experimentos.

Determinación acidez titulable y de pH en masa madre

La acidez fue cuantificada volumétricamente por titulación con NaOH a 0,1 M y el pH se determinó potenciométricamente mediante un pH-metro (Hanna HI208, Colombia) mediante la disolución de un gramo de masa madre en 10 mL de agua destilada de acuerdo con la metodología descrita por Arora y Di Cagno, 2024. Muestras de diferentes puntos de la masa madre (tres) fueron tomadas para estas mediciones con el fin obtener el valor correspondiente para cada experimento. Estas propiedades fueron cuantificadas antes y después de la inoculación de 72 horas.

Recuento de bacterias ácido lácticas y levaduras en masa madre

Después de 72 horas de inoculación el recuento de microorganismos fue llevado a cabo de acuerdo con la metodología de Minervini (2024), con algunas modificaciones. 10 g de masa madre fueron diluidos en 90 mL de agua peptonada, realizando diluciones seriadas 1:10 hasta un valor de 10^{-14} . Medios diferenciales fueron empleados para la cuantificación de cada tipo de microorganismo, Agar MRS (Scharlau, Barcelona, España) con azul de anilina (0,1 mL) se empleó para bacterias ácido lácticas, mientras que Agar PDA (Scharlau, Barcelona, España) con 10% ácido tartárico estéril se utilizó para levaduras. 1 mL de las disoluciones seriadas fueron incubadas en cajas Petri por profundidad a 31 ± 2 °C por 72 h y 7 días para BAL y levaduras respectivamente. Pasado el tiempo de incubación, se hizo un conteo de unidades formadoras de colonias en las diluciones que presentaron entre 30 y 300, calculando la unidad formadora de colonias (UFC/g) a partir de la ecuación 1, finalmente estos resultados fueron reportados en unidades logarítmicas (Log UFC/g). Este análisis se realizó por duplicado por cada tratamiento, donde se tomó 2 muestras de diferentes puntos de la masa madre para mediciones individuales, obteniendo un promedio con su respectiva desviación estándar.

$$UFC/g = \frac{Nc * d}{V} \quad (1)$$

Donde,

Nc: número de colonias.

V: volumen del inóculo aplicado a cada caja en mililitros.

d: factor de dilución correspondiente a la dilución retenida.

Elaboración de pan de masa madre

La formulación del pan se presenta en la Tabla 1, los porcentajes están con relación al peso de la harina, la cual para esta investigación fue de 300 g.

Tabla 1. Formulación del pan con masa madre

Table 1. Sourdough bread formulation

Ingredientes	Porcentaje
Harina	100
Agua	60
Sal	2
Masa madre	20

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration

Los ingredientes se incorporaron en un recipiente y fueron amasados empleando una batidora de pedestal y un agitador de gancho (K45SS, KitchenAid, USA) por 10 minutos hasta alcanzar una consistencia homogénea. Posteriormente se ubicó la masa en moldes dejando en reposo durante 24 horas a condiciones ambientales ($25\pm 3^{\circ}\text{C}$, 70-85% HR). Finalmente se horneó a 200°C en un horno de panadería (HORN-CPA7, Fuller Machinery, Colombia), durante 25 a 30 minutos.

Posteriormente las propiedades texturales y el contenido de fibra de los tratamientos evaluados fueron determinados tras el enfriamiento hasta temperatura ambiente de las muestras.

Determinación de fibra cruda

Para este análisis se tomaron tres muestras de diferentes puntos del pan utilizando un total 5 gramos, con el fin de obtener un promedio con su respectiva desviación estándar para el experimento analizado. El porcentaje de fibra se calculó empleando la ecuación 2 y siguiendo el método de la AOAC 962.09 (AOAC, 2005), en el cual brevemente se realiza la digestión ácida y básica de la muestra, seguida de secado y calcinación en mufla.

$$\%F = \left(\frac{C_s - C_v}{m} \right) * 100 \quad (2)$$

Donde,

$\%F$: porcentaje de fibra.

C_s : peso del crisol después de la estufa.

C_v : peso del crisol después de la mufla.

m : peso de muestra.

Análisis de perfil de textura (TPA)

El perfil de textura se determinó sobre una muestra de pan de altura $10,0 \pm 1,0$ mm cortada del centro de la hogaza, empleando un texturómetro (TX700, Lamy Rheology, Francia) con un aditamento plano. Se aplicó compresión en dos ciclos con 5 segundos de intervalo hasta un 66% de compresión de la altura inicial del pan utilizando una velocidad de 1500 mm/s y una fuerza inicial de 0.050N (Ordoñez y Osorio, 2021). Se obtuvieron las siguientes características reológicas: dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad y masticabilidad. Este análisis se realizó por triplicado para cada experimento realizado.

Análisis estadístico de las variables de respuesta

Los resultados encontrados para las variables de respuesta se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía, con un nivel de confianza del 95% empleando el programa Minitab 19. Si el valor p obtenido es menor a la significancia ($\alpha = 0.05$) se concluyó que existían diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y se aplicó una prueba post ANOVA de Tukey con un nivel de confianza del 95%, para determinar entre que tratamientos se presentaban dichas diferencias.

Resultados y discusión

Acidez y pH de la masa madre

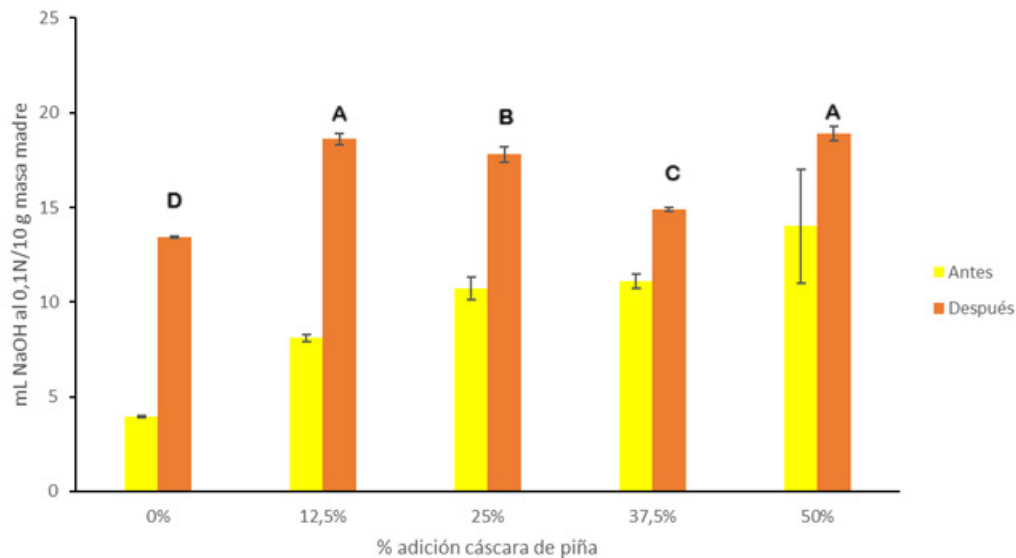
En la Figura 1 se observa la acidez titulable presente en los sustratos antes y después de la inoculación. Antes de la inoculación con el cultivo iniciador es posible observar una tendencia creciente en la acidez conforme la concentración de cascara de piña se incrementa. Las cáscaras de piña son fuente de ácidos orgánicos de diferentes tipos en los que se encuentra el ácido cítrico, málico y quínico (Nordin et al., 2023), lo que incrementa el valor de acidez titulable de 3.95 en el control (0%) a 14 mL NaOH 0,1 M/10 g masa madre en el tratamiento con 50% de cascara de piña. El análisis de varianza mostró que si existían diferencias significativas ($F(4,10) = 17.56$ $p = 1.6 \times 10^{-4}$) indicando que las mezclas de harina de trigo y harina de cascara de piña presentan concentraciones de ácidos orgánicos diferentes.

Después de 72 horas de inoculación, el análisis estadístico mostró diferencias significativas ($F(4,10) = 233$ $p = 8.0 \times 10^{-10}$) entre las muestras. Es interesante notar un incremento en la acidez respecto al valor inicial de 3,4 veces en la muestra control, mientras que para las muestras con adición de cascara de piña fue de 1,3 a 2,3 para 50% y 12,5% respectivamente. La diferencia en la acidez inicial y final fue menor cuando la concentración de cáscaras de piña se incrementó. La acidificación del medio es una consecuencia de la producción de ácido láctico por parte de las bacterias debido al metabolismo de azúcares simples como la glucosa, (Arora y Di Cagno, 2024) una menor cantidad de azúcares simples disponibles, conllevará a una menor producción de ácido láctico lo que es co-

herente con la composición de las cáscaras de piña, las cuales presentan una mayor concentración de polisacáridos complejos como la fibra (12%) que de azúcares simples como glucosa y fructosa (2%) (Siti Roha et al., 2013) explicando así el comportamiento observado.

La acidez de las masas madres estuvo entre 13.43 ± 0.06 y 18.9 ± 0.4 mL NaOH 0,1M/10 g masa madre. Estos resultados se encuentran dentro del rango usual reportado para masa madre de 4.0-25.0 mL de NaOH 0.1 M/10 g de masa (Arora et al., 2021), cumpliendo de igual manera con el valor requerido por la legislación española para masa madre que requiere un valor superior a 6 mL NaOH 0,1M/10 g masa madre (Gobierno de España, 2019). La acidez de la masa madre cumple un papel importante en el sabor y vida útil del producto terminado, por lo que un control adecuado de esta es determinante para asegurar su calidad (Terrazas-Ávila et al., 2024).

Figura 1. Acidez titulable en masas madre con adición de cáscara de piña. Los tratamientos que no comparten una letra son significativamente diferentes
Figure 1. Titratable acidity in sourdoughs with added pineapple peel. Treatments that do not share a letter are significantly different



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration

Por otra parte, en la Figura 2 es posible observar el pH antes y después de la inoculación con el cultivo iniciador. El pH del inóculo compuesto por levaduras, bacterias ácido lácticas y una mezcla 1:1 de harina y agua fue de 4.48 ± 0.05 .

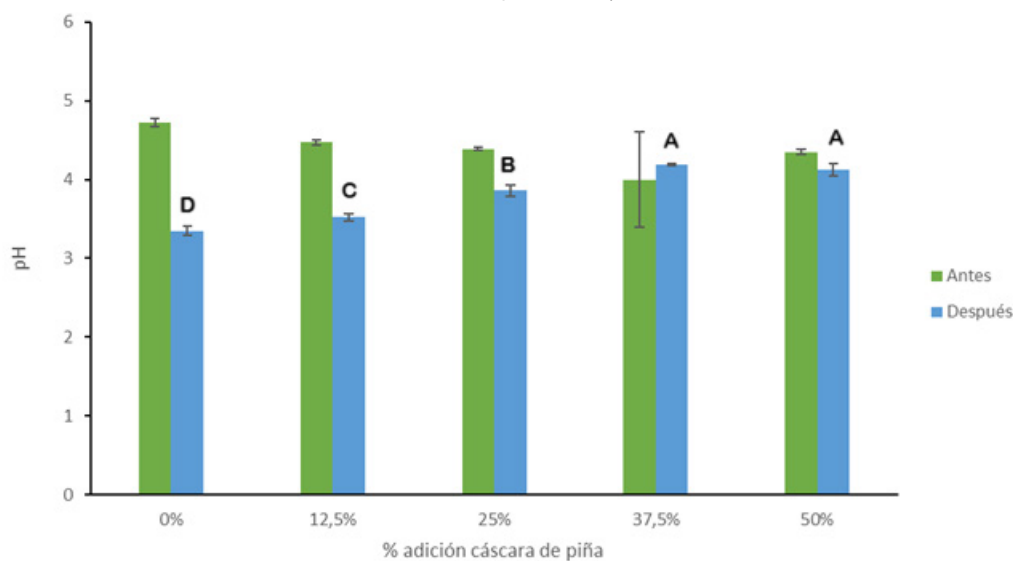
Al realizar un análisis de varianza de una sola vía para los datos previos a la inoculación se encontró que no existían diferencias significativas entre los sustratos ($F(4,10) = 2,70$ $p = 0.092$) indicando que inicialmente las mezclas de harina de trigo y harina de cascara de piña presentaban pH con medias similares. Los valores iniciales de pH estuvieron en promedio entre 4.0 ± 0.6 y 4.72 ± 0.05 .

El pH después de las 72 horas de inoculación mostró diferencias significativas ($F(4,10) = 110$ $p=3.0 \times 10^{-8}$) el análisis post ANOVA permitió observar que el control (0%) fue significativamente diferente de las masas madre con adición de cascara de piña, la cual presentó el pH más bajo (3.35 ± 0.06) los valores de pH se encontraron entre 3.35 y 4.12, similares a los reportados por Arora et al. (2021), con valores de 3.5 a 4.9, cumpliendo de igual forma con el valor requerido por la legislación española para masa madre de ser inferior a 4,2 de acuerdo al Real decreto 308/2019 (Gobierno de España, 2019).

Figura 2. Comportamiento del pH en masas madre con adición de cascara de piña.

Los tratamientos que no comparten una letra son significativamente diferentes

Figure 2. pH behavior in sourdoughs with added pineapple peel. Treatments that do not share a letter are significantly different



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration

De acuerdo con los resultados encontrados las muestras con mayor acidez no son necesariamente las de menor pH como podría esperarse, esto es debido a la capacidad de las fibras, por la presencia de grupos fenólicos en su estructura, de absorber o neutralizar los iones disociados de los ácidos orgánicos presentes en las cáscaras de piña, así como los producidos por la acción de los microorganismos. La composición del sustrato de la masa madre tuvo una influencia directa sobre la capacidad del sistema de evitar cambios súbitos de pH, lo cual es acorde a los resultados encontrados por Tomić et al (2023), donde las diferencias en la capacidad amortiguadora de las masas madre fue atribuido a la composición de las harinas empleadas. Se encontró que la muestra con mayor contenido de cáscara de piña fue la que presentó el valor más alto de pH y el valor más alto de acidez titulable.

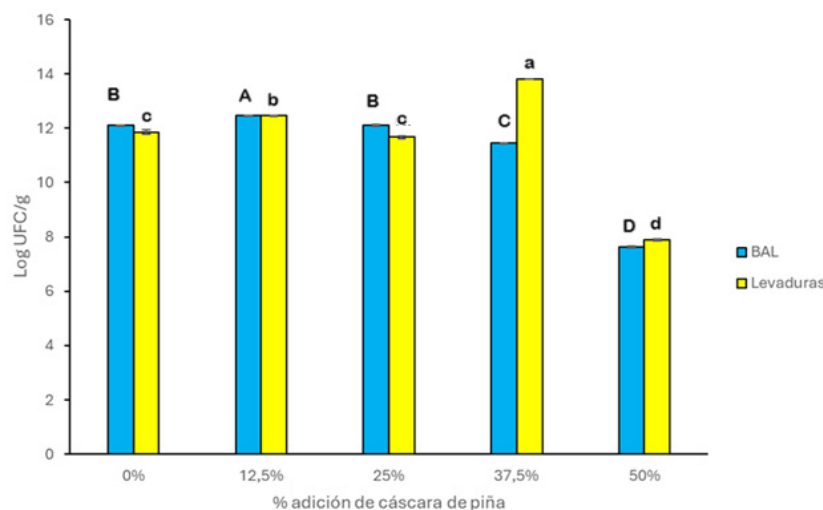
Recuento de bacterias ácido lácticas y levaduras

En la Figura 3 observamos la población microbiana presente en las masas madre después de 72 horas de inocularse con el cultivo iniciador. La concentración de microorganismos en la masa madre será determinante para la acidificación e incremento del volumen del pan, con valores mínimos recomendados de Log 8.0 y Log 6.0 UFC/g para bacterias ácido lácticas y levaduras respectivamente. Para el caso específico de levaduras, el poder leudante se ve afectado negativamente cuando el recuento es inferior a Log 5.0 UFC/g (Arora et al., 2021).

El recuento de bacterias ácido lácticas (BAL) estuvo entre Log 7.6 UFC/g y Log 12.1 UFC/g, mientras que para Levaduras estuvo entre Log 7,8 UFC/g y Log 13.8 UFC/g. Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo al análisis de varianza para ambos tipos de microorganismos (BAL:F (4,5) = 17589 $p = 1,0 \times 10^{-10}$; Levaduras: F (4,5) = 3968 $p = 1,0 \times 10^{-10}$) las poblaciones más bajas se presentaron para el tratamiento con 50% de adición de cáscara de piña, esto fue causado por la reducción considerable en azúcares libres disponibles en el sustrato, lo que disminuyó el crecimiento de los microorganismos, adicionalmente es posible que el contenido de fibra pudiera estar provocando una acción bacteriostática, limitando el crecimiento microbiano (Okoh et al., 2019). Sin embargo, incluso a un nivel del 50% las poblaciones microbianas son cercanas a los valores mínimos recomendados para bacterias ácido lácticas y levaduras, Log 7.6 UFC/g y log 7.8 UFC/g respectivamente.

Figura 3. Población microbiana de la masa madre en función del contenido de cáscara de piña. Los tratamientos que no comparten una letra son significativamente diferentes

Figure 3. Microbial population of the sourdough as a function of pineapple peel content. Treatments that do not share a letter are significantly different



Donde vemos letras mayúsculas corresponden a BAL y letras minúsculas para levaduras.
Fuente: elaboración propia. Where uppercase letters for LAB and lowercase letters for yeasts.
Source: own elaboration.

Es posible entonces indicar que la adición de cáscara de piña permitió obtener masa madre con las características de acidez titulable, pH y concentración microbiana adecuadas para la elaboración del pan. A continuación, se presentan los resultados encontrados para el análisis del perfil de textura y el contenido de fibra en los tratamientos evaluados.

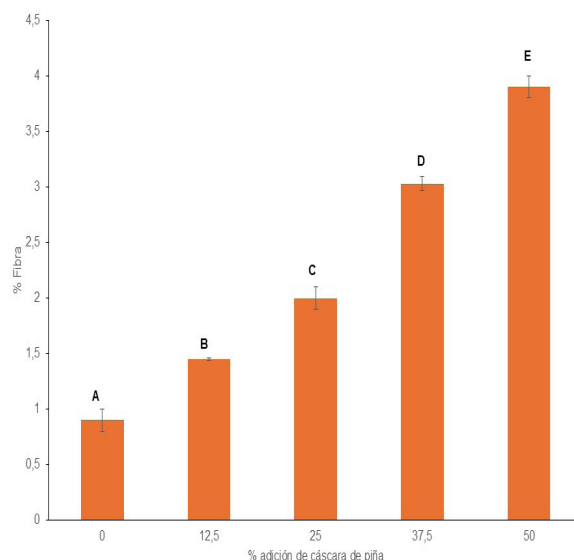
Contenido de fibra

Los resultados para el contenido de fibra se presentan en la Figura 4. Como referencia, el porcentaje de fibra de un pan común de harina de trigo es de $0,7 \pm 0,04\%$ (Raimondo et al., 2020). Se encuentra reportado también que pan de harina de trigo elaborado con masa madre presento valores de 0.84%, esto es debido a los largos tiempos de fermentación que reducen el contenido de carbohidratos simples en la masa, incrementando la proporción relativa de fibra en el producto (Okwunodulu et al., 2024). Para esta investigación, adicional al efecto mencionado previamente, un incremento en el contenido de fibra del producto es provisto por la adición de cáscara de piña en la masa madre, la cual corresponde al 20% de la formulación base del pan. Las cáscaras de piña pueden contener hasta un 14.2% de fibra en su composición (Rivera et al., 2023).

El análisis estadístico permitió encontrar diferencias significativas ($F(4,10) = 372$, $p = 1,1 \times 10^{-10}$), en tanto una tendencia creciente fue posible de observar, llegando a valores de hasta 4 veces para la adición de 50% de cáscara de piña en masa madre, los panes de masa madre con adición de cáscara de piña fueron significativamente diferentes en su contenido de fibra respecto al control.

Figura 4. Contenido de fibra en panes de masa madre con diferentes contenidos de harina de cascara de piña. Los tratamientos que no comparten una letra son significativamente diferentes

Figure 4. Fiber content in sourdough breads with different levels of pineapple peel flour. Treatments that do not share a letter are significantly different



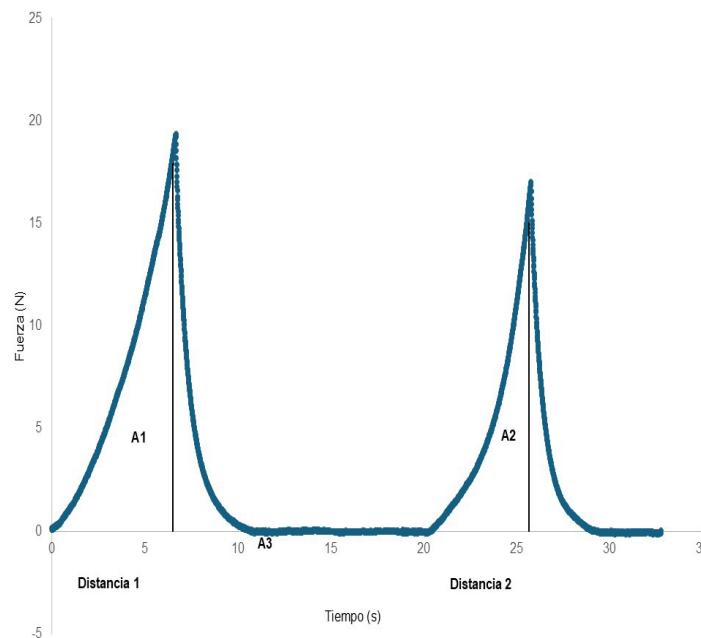
Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration

Análisis del perfil de textura

En la Figura 5 se observa la identificación de los elementos que componen el perfil de textura, empleando los resultados obtenidos para el pan elaborado con masa madre control (0% cáscara de piña).

La fuerza máxima registrada en el primer ciclo de compresión hace referencia a la dureza de la muestra. La adhesividad se observó como un área bajo la curva (A3) que aparece después del primer ciclo de compresión, esta suele ser de valores cercanos a cero para productos de panificación como pan blanco, lo cual fue posible de observar en el comportamiento exhibido por los productos de masa madre. La cohesividad está determinada mediante la relación entre las áreas del segundo (A2) y del primer ciclo (A1), es un indicador de la fuerza de los enlaces internos que unen la miga. Por otra parte, la elasticidad es una medida de la capacidad de un producto de regresar a su forma original, se expresó como la relación entre la altura del producto detectada en la segunda compresión (Distancia 2) respecto a la altura original (Distancia 1), por último, la masticabilidad es una propiedad combinada que se obtuvo del producto de la dureza, la cohesividad y la elasticidad, indicando la energía para partir y masticar el producto (Guiné et al., 2020).

Figura 5. Perfil de textura de pan de masa madre (0% cáscara de piña)
Figure 5. Texture profile of sourdough bread (0% pineapple peel)



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration

En la Tabla 2 se presentan los resultados encontrados para las formulaciones estudiadas con el análisis estadístico correspondiente.

Tabla 2. Propiedades texturales del pan de masa madre con diferentes contenidos de harina de cáscara de piña*Table 2. Textural properties of sourdough bread with different levels of pineapple peel flour*

% Cáscara de piña	Dureza (N)	Cohesividad	Adhesividad	Elasticidad	Masticabilidad (N)
0	18 ± 2AB	0.59 ± 0.02 AB	0.2 ± 0.2 N. S	0.78 ± 0.04 N. S	8 ± 1 N. S
12,5	23.1 ± 0.4A	0.50 ± 0.01 AB	0.00 N. S	0.9 ± 0.3 N. S	10 ± 4 N. S
25	11.8 ± 0.9B	0.62 ± 0.08 A	0.00 N. S	0.9 ± 0.2 N. S	7 ± 2 N. S
37,5	16 ± 1B	0.58 ± 0.02 AB	0.00 N. S	0.70 ± 0.04 N. S	7 ± 1 N. S
50	17 ± 5AB	0.49 ± 0.06 B	0.00 N. S	0.9 ± 0.4 N. S	8 ± 4 N. S

Nota: Los tratamientos que no comparten una letra son significativamente diferentes. N.S indica que no hay diferencias significativas. Fuente: elaboración propia. Note: Treatments that do not share a letter are significantly different. N.S indicates no significant differences. Source: own elaboration.

La dureza de los tratamientos mostró diferencias significativas ($F(4,10) = 8$, $p = 0.004$) detectándose variaciones entre el pan de masa madre con adición de cáscara de piña al 12.5% y las formulaciones de 25 y 37,5%, siendo menor la dureza en estas últimas, estos resultados pueden ser explicados por la capacidad de la fibra de retener agua en la masa, suavizando el producto y disminuyendo las interacciones de gluten, así como los efectos asociados a la retrogradación del almidón (Terrazas-Ávila et al., 2024).

Respecto a la cohesividad de la miga ($F(4,10) = 4.58$, $p = 0.023$), se detectaron diferencias entre las formulaciones de 25% y 50% siendo menor en esta última, esto puede deberse a la mayor cantidad de fibra, la cual compite por el agua presente en la formulación dificultando las interacciones del gluten y disminuyendo la cohesividad de la miga. Sin embargo, el análisis estadístico evidencio que no existieron diferencias significativas entre la muestra control y las muestras de masa madre con adición de cáscara de piña. La cohesividad es una propiedad de gran importancia para los productos de panificación debido a que un valor alto es un indicador de la capacidad del producto de mantener su estructura bajo esfuerzos mecánicos que incluyen aplicar esparcibles como mantequilla, el empaque y transporte, así como la formación de bolo durante la masticación (Guiné et al., 2020).

Para la elasticidad no se identificaron diferencias significativas ($F(4,10) = 0.42$, $p = 0.793$) los valores se encontraron entre 0.7 y 0.9 indicando una miga elástica, aireada y bien desarrollada, permitiendo concluir que la adición de cáscara de piña en masa madre permite el desarrollo de un agente leudante adecuado para mantener la elasticidad del producto.

Finalmente, para la masticabilidad, no se presentaron diferencias significativas

($F(4, 10) = 0.59$, $p = 0.676$) encontrando valores de hasta 10 N en promedio, indicativo de una miga densa que requiere una mayor energía al masticar, especialmente si se compara con los valores reportados para pan blanco elaborado con levaduras como agente leudante con masticabilidad de 6 N (Guiné et al., 2020). La masticabilidad es un parámetro que puede relacionarse con la velocidad en la que los alimentos son ingeridos; alimentos blandos y de valores bajos de masticabilidad serán consumidos con facilidad y en mayor cantidad por unidad de tiempo, mientras que una alta masticabilidad implicaría una tasa menor de ingesta, esta puede ser una valiosa estrategia para controlar la ingesta energética de alimentos, especialmente de aquellos ricos en carbohidratos como el pan (Heuven et al., 2024).

El diseño experimental de un solo factor permitió identificar la influencia de la adición de cáscara de piña sobre las propiedades de la masa madre, así como sobre la textura y el contenido de fibra del producto final. No obstante, al considerar el escalamiento industrial, es esencial evaluar otros factores, como el rendimiento de masa del agente leudante, entendido como la relación entre la masa total y la cantidad de harina utilizada. Este parámetro determina la viscosidad de la masa madre y, por ende, su capacidad de ser bombeada en procesos de mezclado industrial. En esta investigación, se empleó un rendimiento de masa del 200% (proporciones iguales de agua y mezcla de harinas). Sin embargo, la capacidad de absorción de agua de la cáscara de piña puede incrementar la viscosidad, dificultando su manipulación, especialmente a altas concentraciones. Por ello, se recomienda evaluar rendimientos entre 250-300%, mediante la adición de agua, y analizar sus efectos sobre la viscosidad, así como sobre las propiedades físicas, microbiológicas y nutricionales de la masa y del producto final.

Los resultados obtenidos son promisorios para el desarrollo de alimentos funcionales a partir de residuos agroindustriales. Desde un enfoque industrial, la harina de cáscara de piña representa una alternativa económica y de alta disponibilidad en países productores como Costa Rica, Brasil o Colombia. Su uso abre oportunidades para ser adoptado por la industria panificadora, además de fomentar redes de economía circular con procesadores de frutas, reduciendo el impacto ambiental de los residuos y promoviendo esquemas de producción sustentable.

No obstante, el escalamiento presenta desafíos técnicos, como la variabilidad de los subproductos (acidez, azúcares y fibra), lo que podría afectar la viabilidad de los microorganismos durante la fermentación. También se requiere considerar la estabilización microbiológica previa de las harinas de subproductos, debido a la microbiota natural presente, lo que podría implicar ajustes en las concentraciones de inóculo o en los tiempos de fermentación para garantizar la inocuidad del producto.

Finalmente, una perspectiva futura de investigación es el aprovechamiento de diferentes subproductos de piña como corona y centro, así como la evaluación del potencial de otros subproductos provenientes de banano, café o aguacate.

abriendo la posibilidad de evaluar mezclas de subproductos de frutas y determinar cómo su composición pudiera afectar las propiedades de la masa madre y el producto terminado.

Conclusiones

La adición de harina de cáscara de piña en masa madre permitió el desarrollo de un agente leudante con la acidez titulable (> 6 mL NaOH 0,1 M/10 g masa madre), pH (< 3.4) y recuento microbiano de bacterias ácido lácticas y levaduras ($> \text{Log } 8.0$ y $\text{Log } 6.0$ UFC/g respectivamente), aptas para la elaboración de pan.

La concentración de cáscara de piña en la masa madre influyó el contenido de fibra en el producto terminado, aumentando el porcentaje de esta hasta cuatro veces el valor del control.

Las variaciones de cáscara de piña en el agente leudante provocaron modificaciones en la dureza y cohesividad del producto final, debido al contenido de fibra, sin embargo, la masticabilidad global del producto no se vio modificada significativamente permitiendo obtener un pan con propiedades texturales esperadas y un mejor perfil nutricional.

Declaración de autoría

Joel Andrés Pareja Saldaña: Conceptualización, análisis formal, investigación, metodología y redacción – revisión y edición.

Oscar Mauricio Manzano Grajales: Conceptualización, análisis formal, investigación, metodología y redacción – borrador original.

Alexis García Figueroa: Conceptualización, análisis formal, metodología, administración del proyecto, supervisión, validación, visualización y redacción – revisión y edición.

Cristina Ramírez Toro: Conceptualización, recursos, supervisión y redacción – revisión y edición.

Referencias

- AOAC International (2005). *AOAC Official Method 962.09. Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food*. AOAC International.
- Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C.G. y Gobbetti, M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends in Food Science and Technology*, 108, 71-83. DOI [10.1016/j.tifs.2020.12.008](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008)
- Arora, K. y Di Cagno, R. (2024). Determination of pH and titratable acidity. En M. Gobbetti, M. y C.G. Rizzello (Eds.), *Basic Methods and Protocols on Sourdough: Methods and Protocols in Food Science* (pp. 55-60). Humana. DOI [10.1007/978-1-0716-3706-7_5](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3706-7_5)
- Gobierno de España (2019). Real Decreto 308/2019, de 26 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para el pan. *Boletín Oficial del Estado*, 113, 50168-50175. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/26/308>

- Guiné, R.P.F., Santos, C., Rocha, C., Marques, C., Rodrigues, C., Manita, F., Sousa, F., Félix, M., Silva, S. y Rodrigues, S. (2020) Whey-bread, an improved food product: Evaluation of textural characteristics. *Journal of Culinary Science & Technology*, 18(1), 40-53. DOI [10.1080/15428052.2018.1502112](https://doi.org/10.1080/15428052.2018.1502112)
- Heuven, L.A.J., Dekker, M., Renzetti, S. y Bolhuis, D.P. (2024). The eating rate of bread predicted from its sensory texture and physical properties. *Food & Function*, 15(24), 12244-12255. DOI [10.1039/d4fo04297b](https://doi.org/10.1039/d4fo04297b)
- ICONTEC (1996). *Frutas frescas. Piña. Especificaciones (NTC 729-1:1996)*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Minervini, F. (2024). Culture-dependent estimation of lactic acid bacteria and yeasts. En M. Gobbetti y C.G. Rizzello (Eds.), *Basic Methods and Protocols on Sourdough: Methods and Protocols in Food Science*. Humana (pp. 17-27). DOI [10.1007/978-1-0716-3706-7_2](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3706-7_2)
- Nordin, N.L., Sulaiman, R., Bakar, J. y Noranizan, M. A. (2023). Comparison of phenolic and volatile compounds in MD2 pineapple peel and core. *Foods*, 12(11), 2233. DOI [10.3390/foods12112233](https://doi.org/10.3390/foods12112233)
- Okoh, M.E., Obadiah, H.I. y Aiyamenkue, J. (2019), Antimicrobial activities of pineapple peel (*Ananas comosus*) extract on selected microbes. *Biological Reports*, 4(10), 11.
- Okwunodulu, I.N., Egbuta, G.N., Okwunodulu, F.U., Ojinnaka, C.M. y Onyeiwu, S.C. (2024). Gluten free sourdough breads from pearl millet-Bambara nut and pearl millet-soybean paste: Evaluation of the proximate, functional properties of the flour blends and the bread nutritional indexes. *Food Chemistry Advances*, 4, 100633. DOI [10.1016/j.focha.2024.100633](https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100633)
- Ordoñez, M.H. y Osorio, D.D. (2012). Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). *Bistua Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 10(2), 61-74.
- Polanía, A.M., Londoño, L., Ramírez, C., Bolivar, G. y Aguilar, C.N. (2023). Valorization of pineapple waste as novel source of nutraceuticals and biofunctional compounds. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(5), 3593-3618. DOI [10.1007/s13399-022-02811-8](https://doi.org/10.1007/s13399-022-02811-8)
- Raimondo, E., Farah, S., Calle-Domínguez, J., Mezzatesta, P., Dip, G. y Gascon, A. (2020). Mejoramiento del perfil nutricional del pan. *Revista Investigación, Ciencia y Universidad*, 4(5), 4047.
- Rivera, A.M.P., Toro, C.R., Londoño, L., Bolivar, G., Ascacio, J.A. y Aguilar, C.N. (2023). Bioprocessing of pineapple waste biomass for sustainable production of bioactive compounds with high antioxidant activity. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 586-606. DOI [10.1007/s11694-022-01627-4](https://doi.org/10.1007/s11694-022-01627-4)
- Siepmann, F.B., Ripari, V., Waszczynskyj, N. y Spier, M.R. (2018). Overview of sourdough technology: From production to marketing. *Food and Bioprocess Technology*, 11(2), 242-270. DOI [10.1007/s11947-017-1968-2](https://doi.org/10.1007/s11947-017-1968-2)

- Siti Roha, A.M., Zainal, S., Noriham, A. y Nadzirah, K.Z. (2013). Determination of sugar content in pineapple waste variety N36. *International Food Research Journal*, 20, 1941-1943.
- Terrazas-Ávila, P., Palma-Rodríguez, H.M., Navarro-Cortez, R.O., Hernández-Uribe, J.P., Piloni-Martini, J. y Vargas-Torres, A. (2024). The effects of fermentation time on sourdough bread: An analysis of texture profile, starch digestion rate, and protein hydrolysis rate. *Journal of Texture Studies*, 55(2), e12831. DOI [10.1111/jtxs.12831](https://doi.org/10.1111/jtxs.12831)
- Tomić, J., Dapčević-Hadnađev, T., Škrobot, D., Maravić, N., Popović, N., Stevanović, D. y Hadnađev, M. (2023). Spontaneously fermented ancient wheat sourdoughs in breadmaking: Impact of flour quality on sourdough and bread physico-chemical properties. *LWT*, 175, 114482. DOI [10.1016/j.lwt.2023.114482](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114482)
- Wang, Z., Ma, S., Li, L. y Huang, J. (2022). Synergistic fermentation of *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* to improve the quality of wheat bran dietary fiber-steamed bread. *Food Chemistry: X*, 16, 100528. DOI [10.1016/j.fochx.2022.100528](https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100528)