

**Artículo de investigación**<https://doi.org/10.61767/mjte.004.3.2237>

Olvera-Franco et al., 2025

Recibido: 05-08-2025

Revisado: 01-12-2025

Aceptado: 04-12-2025

Publicado: 20-12-2025

Cambios fisicoquímicos, fitoquímicos y microbiológicos en harina de metzal por efecto de la congelación

Physicochemical, phytochemical and microbiological changes in metzal flour due to freezing

I. A. Olvera-Franco¹, A. Quintero-Lira^{2,*}, J. Piloni-Martini², C. U. López-Palestina², W. M. Delgadillo-Ávila¹ y J. E. Aparicio-Burgos¹

¹ Escuela Superior de Apan de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México, 43920.

² Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México, 43600.

*Correspondencia: aurora_quintero1489@uaeh.edu.mx

Resumen

El mechal también conocido como metzal es una pulpa o tejido vegetal que se obtiene durante el raspado del maguey para extraer aguamiel, es de sabor dulce, color blanco, su textura es rígida y fibrosa. En México ha sido utilizado con fines gastronómicos; sin embargo, hay pocos estudios respecto a su conservación. En el presente trabajo se realizó un análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas, fitoquímicas, microbiológicas y químicos proximales de harina obtenida de metzal fresco, congelado a -20°C y -80°C durante 30 y 60 días. El metzal fresco obtenido se dividió en 5 lotes y se procesó para obtener una harina control y harinas tratadas en las diferentes condiciones de congelación. Los resultados muestran que algunas de las propiedades de la harina de metzal se modifican debido a la congelación, sin embargo, algunas otras no muestran diferencias significativas como el valor de a^* de color así mismo los microorganismos como coliformes, hongos y levaduras disminuyen o bien son inhibidos por completo gracias a la congelación. Estos hallazgos evidencian el potencial de la congelación como una estrategia eficaz para la conservación del metzal, aportando bases científicas para su aprovechamiento y posibles aplicaciones en la industria alimentaria.

Palabras clave: Maguey, congelación, conservación, metabolitos secundarios, subproductos.

Abstract

The mechal, also known as metzal, is a pulp or vegetal tissue obtained during the scraping of the maguey to extract aguamiel. It has a sweet flavor, white color, and a rigid, fibrous texture. In Mexico, it has traditionally been used for gastronomic purposes; however, there are few studies



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

regarding its preservation. In the present work, a comparative analysis was carried out on the physicochemical, phytochemical, microbiological, and proximate chemical properties of flour obtained from fresh metzal, and from metzal frozen at -20°C and -80°C for 30 and 60 days. The fresh metzal obtained was divided into five batches and processed to obtain a control flour and flours treated under different freezing conditions. The results show that some properties of metzal flour are modified due to freezing; however, others show no significant differences, such as the color component. Likewise, microorganisms such as coliforms, molds, and yeasts decrease or are completely eliminated thanks to freezing. These findings highlight the potential of freezing as an effective strategy for the preservation of metzal, providing scientific bases for its utilization and possible applications in the food industry.

Keywords: Maguey, freezing, preservation, secondary metabolites, by-products.

1. Introducción

En México una de las plantas que adornan lugares áridos y semiáridos son los agaves o magueyes (Mendoza, 2007), con aproximadamente 215 especies diferentes (Semarnat, 2019), entre las que se destaca el maguey manso o pulquero ya que permite la obtención de aguamiel y la posterior elaboración de pulque, esta especie en particular puede alcanzar 3 metros de altura y 10 metros de circunferencia, con hojas de entre 1 y 2 metros de largo, de color verde y profundamente convexas en la base y cóncavas hacia la punta (Martínez et al., 2019; SAGARPA, 2018). Durante la extracción del aguamiel, el tlachiquero debe retirar la pulpa, también conocida como metzal, cuyo nombre proviene del náhuatl *Metzalli* que se divide en *Metl* (maguey) y *tzalli* (raspadura), lo que significa rasgadura o raspadura de maguey (Bravo, 2014), en algunas zonas de México es empleado en la elaboración de alimentos como galletas o tortillas (García et al., 2016) debido a sus características químico-proximales que muestran un contenido de humedad de 7.0 %, lo que indica una buena estabilidad microbiológica para su almacenamiento, su contenido de proteína es de 4.1 %, extracto etéreo (grasas) de 0.6 %, minerales (ceniza) de 7.1 % y fibra cruda de 11 % (Figueredo et al., 2023). En este sentido, es especialmente relevante investigar la conservación del metzal, ya que su estabilización no solo permitiría extender la vida útil de este insumo sino además aprovecharlo como una materia prima con un alto potencial en el desarrollo de productos de valor agregado. La

investigación en este campo puede generar beneficios tecnológicos, y podrían establecerse protocolos de procesamiento y almacenamiento que optimicen la calidad y funcionalidad del metzal; por los nuevos ingredientes con propiedades nutricionales o funcionales destacables y económicos al revalorizar un subproducto que actualmente se encuentra subutilizado y así fortalecer las cadenas productivas asociadas al cultivo y aprovechamiento del maguey. Si bien el metzal se incorpora de forma tradicional en ciertos alimentos, los escasos estudios que exploran sus propiedades fisicoquímicas y la falta de trabajos sistemáticos sobre su estabilidad y conservación limitan su utilización a gran escala. Por ello, es necesario ligar los usos tradicionales del metzal con investigaciones científicas orientadas a evaluar cómo diferentes métodos de conservación como es la congelación que afecta sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y su contenido de compuestos bioactivos. Este enfoque permite articular el conocimiento tradicional y la innovación tecnológica, estableciendo una correlación entre la herencia culinaria del metzal y su potencial aplicación en la industria alimentaria moderna. La congelación es un método excelente para conservar alimentos pues al disminuir la temperatura se inhiben reacciones enzimáticas, químicas y proliferación microbiológica, sin embargo, este proceso puede alterar la estabilidad y propiedades de las macromoléculas, así como su textura ya que se forman cristales de hielo que rompen las paredes



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

celulares, no obstante, estos efectos dependerán de la temperatura y tiempo de congelación (Badui, 2006; Rodríguez, 2011). No obstante, el estudio realizado por Sepúlveda et al. (2019) mostro que el aumento o disminución de la temperatura afecta a la degradación de metabolitos secundarios en específico fenoles totales. En consecuencia, evaluar cómo la congelación influye en la harina de metzal no solo fortalece el conocimiento sobre su conservación, sino que además aporta bases científicas para su aprovechamiento como recurso funcional en la industria alimentaria. En base a lo anterior se planteó como objetivo analizar las propiedades fisicoquímicas, fitoquímicas, microbiológicas y químicos proximales de harina obtenida de metzal fresco y congelado a -20°C y -80°C durante 30 y 60 días.

2. Materiales y métodos

2.1 Proceso de elaboración de la harina de metzal

El metzal se obtuvo del agave pulquero (*Agave Salmiana*), recolectado en el rancho "La gaspareña" que se ubica en el municipio de Singuilucan Hidalgo, México, con coordenadas de longitud (dec): -98.502500 y latitud (dec): 19.969722 . Su traslado se realizó a 4°C al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) al laboratorio de nutrición animal, donde se dividió en cinco tratamientos de 1 kg, cada una marcada como H0, H1, H2, H3 y H4. Inmediatamente cada una fue escaldada a 70°C (5 min), ya que estudios previos demostraron que a estas condiciones optimizan las características de color y pH en comparación con otros métodos de escaldado o blanqueamiento químico (Hernández, 2025). Tras el escaldado, los tratamientos se colocaron sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua. La muestra H0 se extendió en papel aluminio, se secó en una estufa (TERLAB, TE-FH61DM, USA) a 100°C y se molió en un molino convencional de café de cuchillas (Hamilton Beach, 80335R, China), obteniéndose la harina control (sin congelación). Las cuatro muestras restantes, ya escaldadas, se sellaron al vacío y se sometieron a congelación: H1 a -20°C durante 30 días, en un congelador (Rhino, CONGECO-24X,

México), H2 se congeló a -20°C durante 60 días, H3 se congeló a -80°C durante 30 días y la muestra H4 se congeló a -80°C durante 60 días en un congelador (REVCO, ULT390-10-V, Thermo Fisher Scientific, USA). Al concluir el período de almacenamiento, las muestras fueron descongeladas en un refrigerador (IMBERA, Cobalt VR-25, México) a 4°C durante 1 día y posteriormente, se realizó la harina siguiendo la misma metodología aplicada a H0.

2.2 Análisis fisicoquímico y químico proximal de la harina

Los análisis fisicoquímicos fueron la medición del color, pH y acidez titulable en las harinas H0, H1, H2, H3 y H4. Para la evaluación del color se empleó el sistema de coordenadas CIELAB, que se mide a través de tres componentes L^* (luminosidad), a^* (verde a rojo) y b^* (azul a amarillo) (Mathias Rettig y Ah Hen, 2014), por lo que se colocaron las muestras en una superficie limpia y lisa, para ser evaluadas con ayuda de un colorímetro (LINSHANG, LS170 $45^{\circ}/0^{\circ}$, China). El pH se determinó de acuerdo con la NMX-F-317-S-1978, que establece primero la calibración del potenciómetro (HANNA, Hi6221-01, USA) con las soluciones reguladoras de pH 4, pH 7, y pH 10. Una vez calibrado, se añadieron entre 10 a 20 mL de agua destilada por cada 100 g de muestra disuelta a 20°C y se tomó la lectura de forma directa. La acidez titulable se evaluó conforme a lo establecido en AOAC (2000), Oficial Method; 942.15. Los resultados se reportaron en porcentaje de ácido cítrico para todos los tratamientos. Para ello, se pesaron 5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer, a los que se añadieron 20 mL de agua destilada y 5 gotas de fenolftaleína al 1 %. La titulación se realizó con NaOH al 0.1 N. El análisis químico proximal se inició con la determinación de humedad de acuerdo con el método establecido en AOAC (2012); Oficial Method 925.09. En este procedimiento las harinas se colocaron en un horno de secado (TERLAB, TE-FH61DM, USA) durante 4 h a 105°C y/o hasta llegar a peso constante. Para la determinación de cenizas se utilizó el método AOAC (1997); Oficial Method 923.03 donde se calcinan las muestras, por lo que



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

se colocaron 3 g de cada muestra en crisoles, se carbonizaron y luego se colocaron en una mufla (TERLAB, TE-M20AC, USA) a 550°C durante 4 h. El porcentaje de grasa se obtuvo empleando el método Soxhelt, según lo establecido en la norma mexicana NMX-F-615-NORMEX-2018, usando el sistema de extracción automática (Büchi, Universal Extractor E-800, USA), por lo que las muestras fueron colocadas en cartuchos de celulosa y se colocaron en el equipo de extracción de grasa (Büchi, E-500 HE, USA), utilizando éter de petróleo como solvente. Para la determinación de fibra se aplicó la metodología de AOAC (2010); Official Method; 962.09. Las muestras previamente desgrasadas se colocaron en vasos Berzelius de 600 mL con 200 mL de H_2SO_4 a 0.255N, se pusieron en el equipo de extracción de fibra (LABCONCO, 35001, USA), a ebullición por 30 min, después se filtró y lavó con agua caliente a pH neutro, posteriormente el residuo se sometió a una segunda ebullición durante 30 min con 200 mL de NaOH 0.313 N, después se filtraron y lavaron los residuos con 25 mL de H_2SO_4 al 0.255N, 25 mL de alcohol y 150 mL agua destilada caliente. Finalmente, todas las muestras se colocaron en crisoles y en la estufa (TERLAB TE-FH61DM, USA) a 130°C durante 2 h, se calcinaron en una mufla (TERLAB, TE-M20AC, USA) a 530 °C por media hora. El porcentaje de proteína se evaluó mediante el método micro Kjeldahl AOAC (1997) Oficial Method (920.123), para este análisis se pesaron 0.5 g de muestra en un papel libre de nitrógeno y se transfirieron a un matraz Kjeldahl donde se le añadieron 20 mL de H_2SO_4 concentrado con una pastilla digestora (MERCK, USA). Se colocaron en un digestor Kjeldahl hasta que el nitrógeno orgánico se transformó en ion amonio. Finalmente, se realizó la destilación y titulación empleando H_2SO_4 al 0.1 N. El contenido de nitrógeno obtenido se multiplicó por el factor de conversión 6.25 para calcular el porcentaje de proteína.

2.3 Detección cualitativa de compuestos fitoquímicos

Se preparó un extracto acuoso de las harinas (todos los tratamientos) con una concentración 10 % (p/v). Para identificar los metabolitos

secundarios presentes en las harinas de metzal, se empleó un tamizaje fitoquímico mediante reacciones de color según los protocolos descritos por Ramman (2006), esto a temperatura ambiente y agitando en un vórtex (Scientific Industries Vortex-Genie® 2 Shakers, Max rpm 3200 - VAC 120, USA). Para determinar los alcaloides, se aplicó la prueba de Mayer, la cual consiste en añadir 1 mL del extracto y 3 gotas del reactivo de Mayer en un tubo de precipitado. La formación de un precipitado blanco cremoso indica un resultado positivo. La presencia de insaturaciones se determinó con permanganato de potasio ($KMnO_4$). Se colocaron 1 mL de extracto y 3 gotas de una solución acuosa al 2 % de $KMnO_4$. La prueba se considera positiva si se observa una decoloración o la formación de un precipitado café, lo cual indica la formación de dióxido de manganeso. Para la detección de oxhidrilos fenólicos, se utilizó una solución acuosa al 5 % de cloruro férrico ($FeCl_3$). En un tubo de ensayo se mezclaron 1 mL del extracto y 3 gotas de dicha solución. La aparición de una coloración roja, azul violeta o verde indica una prueba positiva. La detección de sesquiterpenlactonas se realizó mediante la prueba de Baljet, empleando una mezcla en partes iguales de ácido pícrico al 1 % en etanol y una solución acuosa al 10 % de hidróxido de sodio (NaOH). Se colocó 1 mL del extracto en un tubo de precipitado y se añadieron 4 gotas de la mezcla. Una coloración naranja o rojo oscuro indica un resultado positivo. Para la identificación de flavonoides, se realizó una prueba con ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Se mezclaron 1 mL del extracto y 1 mL de H_2SO_4 en un tubo de ensayo. Las coloraciones observadas permiten identificar el tipo de flavonoide: amarillo (flavonoles y flavonas), naranja-guinda (flavonas), rojo-azulado (chalconas) o rojo-púrpura (quinonas). La presencia de saponinas se determinó mediante la prueba de Salkowski. Se colocaron 1 mL del extracto, 1 mL de cloroformo y 1 mL de ácido sulfúrico concentrado en un tubo de ensayo. Una coloración amarilla o café rojizo indica un resultado positivo. Las cumarinas se detectaron mediante la prueba de hidróxido de sodio. Se mezclaron 1 mL del extracto con 1 mL de NaOH al



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

10 % en un tubo de ensayo. Una coloración amarilla que desaparece al añadir 1 mL de ácido clorhídrico concentrado indica la presencia de cumarinas. La presencia de esteroides se evaluó mediante la reacción de Liebermann-Burchard. Primero, se disolvieron 1 mL del extracto en 1 mL de cloroformo. A esta mezcla se le añadieron 1 mL de anhídrido acético y 1 mL de ácido sulfúrico concentrado. La formación de un anillo azul-verdoso indica un resultado positivo. Finalmente, se determinaron taninos con FeCl_3 . Se colocaron 1 mL del extracto y 2 mL de agua destilada en un tubo de ensayo, añadiendo luego gotas de una solución acuosa de FeCl_3 al 0.1 %. Una coloración verde-azulada indica la presencia de catequinas, mientras que una coloración azul-negruzca señala taninos gálicos.

2.4 Cuantificación de azúcares reductores directos y totales por DNS

Los azúcares reductores presentes en las harinas de metzal, expresados en mg de glucosa equivalente por Kg de muestra seca. La determinación se llevó a cabo por triplicado mediante el método colorimétrico con ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), siguiendo el método descrito por Miller (1959). Este reactivo se preparó disolviendo 5 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico y 150 g de tartrato de sodio y potasio en un vaso de precipitado de 1000 mL, bajo agitación constante, y mezclándolo posteriormente con 100 mL de NaOH (2N). El volumen final se aforó a 500 mL y la solución se almacenó en frascos ámbar recubiertos con papel aluminio debido a su sensibilidad a la luz. El DNS reacciona con los monosacáridos, generando un cambio de color que varía de amarillo a café oscuro, cuya intensidad es proporcional a la concentración de azúcares reductores. Para la determinación de azúcares reductores directos, se pesó 1 g de harina y se disolvió en 10 mL de agua destilada, agitado con ayuda de un vortex; de esta suspensión se tomaron 500 μL , los cuales se mezclaron con 500 μL de DNS en tubos de ensayo. Las muestras se calentaron a ebullición durante 5 min, se enfriaron en baño de hielo y se adicionaron con 5 mL de agua destilada, se agitaron hasta homogeneizar con ayuda de un

vórtex. (Scientific Industries Vortex-Genie® 2 Shakers, Max rpm 3200 - VAC 120, USA). La lectura se realizó en un espectrofotómetro (Varian, Cary 100, USA) a una longitud de onda de 540 nm. Por otro lado, para los azúcares reductores totales se tomaron 500 μL de muestra en un tubo de ensayo, se le agregó 2.6 mL de agua destilada y 300 μL de HCl al 5 % posteriormente se agitaron con ayuda de un vórtex (Scientific Industries Vortex-Genie® 2 Shakers, Max rpm 3200 - VAC 120, USA), para calentarse a baño maría a 60°C durante 30 min, los tubos de ensayo se enfriaron en agua con hielo y su pH se ajustó entre 6-8 con ayuda de una solución de KOH a 3 N, una vez obtenido el pH correcto se aforó a 15 mL y en un tubo de ensayo se colocaron 500 μL de la muestra hidrolizada y 500 μL de DNS, estos se calentaron hasta ebullición por 5 min, se enfriaron en agua con hielo, finalmente se agregaron 5 mL de agua destilada, se homogenizó perfectamente para realizarse la lectura en un espectrofotómetro (Varian, Cary 100, USA) a 540 nm. La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración de glucosa en un rango de 0 a 2 g/L, con la ecuación de regresión $y = 0.099x + 0.0702$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9951$.

2.5 Análisis microbiológicos

Para realizar el análisis de microbiológico se utilizaron 3 medios de cultivos: cultivo estándar o mesófilos aerobios (BD BBL™, México), agar papa dextrosa o hongos y levaduras (BD BBL™, México) y MacConkey o coliformes (BD BBL™, México), los cuales se prepararon con base en las indicaciones del fabricante para cada. Los cultivos y los tubos con 4.5 mL de agua peptonada, se esterilizaron en una autoclave (ICB, ACF111254, México), 121 °C durante 15 min, para después en cajas Petri verter aproximadamente 15 mL, a continuación, se colocaron en una incubadora (THERMO SCIENTIFIC, 51028130, USA) a 28 °C por 24 h para asegurar su estabilidad. El área de siembra se desinfectó correctamente. Todos los cultivos mencionados se sembraron por extensión diluciones de -1, -2 y -3 (0.5 g de muestra más 4.5 mL de agua peptonada). Las cajas inoculadas se incubaron a 28 °C en una incubadora (THERMO



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

SCIENTIFIC, 51028130, USA), para posteriormente hacer un conteo manual de las unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g) a las 24, 48 y 72 h de incubación (COFEPRIS, 2022; NOM-247-SSA1-2008).

2.6 Microscopia de barrido

Se realizó un análisis estructural de la harina de metzal que presente mejores características en las variables estudiadas, con ayuda de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) (JEOL, modelo IT300, Boston, Estados Unidos de América) ubicado en la Escuela Superior de Apan, siguiendo la metodología de Cuervo-Parra et al. (2024), bajo las siguientes condiciones: 15 kilovolts (kv); distancia de trabajo 10.4mm; High-P.C. 20.0; alto vacío observado en aumentos a 500x y 1000x, las muestra se recubrió de oro para que fuesen conductora, permitiendo así la observación de sus características espaciales con alta magnificación.

2.7 Determinación de capacidad de retención de agua

Esta determinación se realizó empleando el método 56-11.02 (AACC, 2000) colocando 1 g de cada muestra y adicionando 10 mL de agua destilada, esta mezcla se agitó durante 1 min con ayuda de un vórtex (Scientific Industries Vortex-Genie® 2 Shakers, Max rpm 3200 - VAC 120, USA). Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 2,000 rpm durante 30 min, finalmente se retiró el agua sobrenadante para pesar los tubos de centrifuga con las muestras. La capacidad de retención de agua (CRA), se expresó en gramos de agua retenida por gramo de muestra (Vásquez-Lara et al., 2021). El cálculo se llevó a cabo empleando la siguiente fórmula:

$$CRAg = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}}$$

2.8 Determinación de capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite se determinó pesando 1 g de muestra de cada harina (H0, H1, H2, H3 y H4), posteriormente se colocó en un tubo de centrifuga y se agregaron 10 mL de aceite

de cárcamo. La solución se mezcló con ayuda de un vórtex (Scientific Industries Vortex-Genie® 2 Shakers, Max rpm 3200 - VAC 120, USA) por 5 min y se dejó reposar por 30 min, para centrifugarse a temperatura ambiente por 30 min a 3,000 rpm. Finalmente, se retiró el sobrenadante y se pesaron los tubos con la muestra (Villar, 2021). El cálculo de los resultados se realizó de la siguiente manera:

$$CRAc = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}}$$

2.9 Determinación de rendimiento

El rendimiento se expresó como la cantidad de harina resultante en función de la cantidad de metzal utilizado. Para calcularlo se aplicó la siguiente fórmula (García et al., 2012).

$$\text{Rendimiento de la harina (\%)} = \frac{\text{Peso de la harina}}{\text{Peso del metzal}} (100)$$

2.10 Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron por triplicado. Los análisis fisicoquímicos, químico-proximales, azúcares reductores totales y directos, microbiológicos, capacidad de retención de agua y aceite y rendimiento se determinaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y los resultados son expresados como media \pm desviación estándar. Para conocer la diferencia entre tratamientos se llevó a cabo la comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$ con el paquete estadístico software SPSS Statistics 21.

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados fisicoquímicos

En la Tabla 1 se muestran los valores obtenidos en pH, color y acidez titulable para todas las harinas. Donde se observa que en pH existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todas las muestras oscilando entre 5.29 para H0, 5.09 para H1, 4.91 para H2, 5.03 en H3 y 4.98 en H4. No se encontraron valores reportados para este tipo de harina; sin embargo, de acuerdo con Garrido (2017) el pH de la harina de chíá es de 6.00, lo cual es superior al valor obtenido en todas las muestras analizadas. Esta diferencia puede



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

atribuirse a las características de la materia prima. Por otro lado, el color se divide en L^* el cual no muestra diferencias significativas entre H1, H2 y H4, pero sin con respecto a H0, H1 y H3; este eje vertical simboliza la medición de luminosidad de un color oscilando entre 0 para negro y 100 para blanco. El siguiente valor por considerar de color es a^* el cual no presenta diferencias significativas con datos de 4.90, 4.57, 5.08, 3.71 y 4.97 para H0, H1, H2, H3 y H4 respectivamente, en este tipo de coordenadas los números positivos indican cercanía a rojo mientras los negativos lo hacen al verde. Por último, se muestran los valores de b^* en 13.10 para H0, 9.65 en H1, 13.48 para H2, 10.22 en H3 y 11.68 para H4 donde los datos positivos muestran su cercanía al amarillo y los negativos indican su tendencia al azul. En cuanto a la acidez, las muestras que no presentaron diferencias significativas fueron H2 (1.74) y H4 (1.64), H3 (1.62) y H4. En cambio, si se observaron diferencias significativas al

compararlas con H0 (1.09) y H1 (1.48). Por otro lado, el color según Vásquez et al. (2016) en la harina de trigo presenta una L^* (luminosidad) de 95.94, es decir, mayor a la obtenida en todas las harinas de metzal, sin embargo, b^* (la tendencia al amarillo) es menor en el caso del trigo con un valor de 2.76, para la coordenada que va verde a rojo (a^*) el valor que los autores reportan es de 4.58, muy similar al presentado en todas las muestras. Según Valdivienzo (2019) la acidez en la harina de trigo está por debajo de la determinada para todos los casos de harina de metzal. Las similitudes y diferencias obtenidas en los datos se atribuyen a las características de las materias primas. Por otro lado, el comportamiento de la acidez titulable, específicamente su aumento en relación con la temperatura de congelación es comparable al observado en la pulpa de guayaba (Domínguez-Guadarrama et al., 2018).

Tabla 1. Análisis fisicoquímico de las harinas H0, H1, H2, H3 y H4.

Componente	H0	H1	H2	H3	H4
pH	5.29±0.02 ^e	5.09±0.01 ^d	4.91±0.01 ^a	5.03±0.01 ^c	4.98±0.01 ^b
L^*	83.45±1.33 ^b	82.36±1.45 ^{ab}	80.53±0.73 ^a	84.47±0.7 ^b	80.59±0.37 ^a
a^*	4.90±0.66 ^a	4.57±0.53 ^a	5.08±0.24 ^a	3.71±0.85 ^a	4.97±0.81 ^a
b^*	13.10±0.43 ^{cd}	9.65±0.36 ^a	13.48±0.47 ^d	10.22±1.04 ^{ab}	11.68±0.15 ^{bc}
Acidez (%)	1.09±0.01 ^a	1.48±0.02 ^b	1.74±0.03 ^d	1.62±0.02 ^c	1.64±0.08 ^{cd}

H0: Control, H1: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 30 días, H2: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 60 días, H3: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 30 días y H4: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 60 días. Letras diferentes representan diferencias significativas (Turkey, $p < 0.05$). Se muestran la media \pm desviación estándar de tres réplicas por muestra; Tukey, $p < 0.05$.

3.2 Resultados químico-proximales

La Tabla 2 presenta los resultados del análisis químico proximal de las diferentes harinas evaluadas (H0, H1, H2, H3 y H4). Estos se compararon con los valores reportados por Borrego et al. (2016) para harina de trigo, Guiñazú et al. (2020) para harina de quinoa y Salinas (2013) para harina de bagazo de uva. En cuanto a la humedad, se observaron diferencias significativas en la harina control H0 (12.63 %), H3 (9.84 %) y H4 (4.45 %). La harina control mostró un valor similar al del trigo (14 %), mientras que

las demás presentaron una disminución atribuida al efecto de la congelación, que genera cristales de hielo capaces de romper las paredes celulares y liberar agua (Rodríguez, 2011). Respecto al contenido de cenizas, solo H4 presentó diferencias significativas (5.99 %). En general, los valores obtenidos fueron superiores al reportado para trigo (1.025 %), lo que sugiere una mayor concentración de minerales en la harina de metzal. En el caso de las grasas, hubo diferencias significativas entre H0 (3.44 %) y H2 (3.20 %) con H1 (1.61 %), H3 (1.68 %) y H4 (2.13 %). Los



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

valores de H1 y H3 se aproximaron al de la harina de trigo (1.25 %), mientras que H0 y H2 coincidieron con lo reportado para quinoa (3.91 %). Estas variaciones pueden estar relacionadas con el efecto de la congelación sobre la redistribución de lípidos y con la heterogeneidad del material vegetal procesado. Para la fibra cruda, no se observaron diferencias entre H2 (7.55 %) y H3 (8.78 %), ni entre H3 y H4 (9.14 %). En cambio, sí se encontraron diferencias respecto a H0 (14.53 %) y H1 (10.82 %). Todas las harinas de metzal superaron el valor del trigo (7 %), aunque permanecieron por debajo de la quinoa (16.49 %). Sin embargo, el contenido de fibra fue inferior al de la quinoa, lo que sugiere que el metzal se ubica en un nivel intermedio en cuanto a aporte de fibra. En proteínas, se detectaron diferencias significativas en H0 (2.99 %), H1 (3.53 %) y H3 (4.88 %). No obstante, los valores de todas las harinas de metzal fueron muy inferiores a los reportados para trigo (10.5 %), quinoa (12.87 %) y uva blanca (6.4 %). Finalmente, en el caso de los carbohidratos, se registraron diferencias significativas en H0 (61.5 %) y H3 (70.12 %). La harina control presentó un contenido menor que en trigo y quinoa, mientras que las harinas sometidas a congelación mostraron valores más elevados. Este incremento puede explicarse como un efecto indirecto de la reducción de humedad y proteína, que aumenta la proporción relativa de carbohidratos. En la tabla 3 se muestran los resultados del tamiz fitoquímico de la harina control y de las harinas analizadas a diferentes tiempos y temperaturas de congelación. Los alcaloides se detectaron únicamente en H0. Según Balam (2024) los alcaloides pueden ser empleados en la elaboración de medicamentos, sin embargo, no son beneficiosos por sí mismos, esto dependerá de su uso. Las insaturaciones, oxhidrilos fenólicos, sesquiterpenlactonas, cumarinas, esteroides y taninos están presentes en todas las muestras de las harinas. De acuerdo con Chaves et al. (2022) las insaturaciones muestran la presencia de grasas y aceites. Abarca y Vera (2019) menciona que los compuestos fenólicos son benéficos a la salud. Tanto las sesquiterpenlactonas, flavonoides, cumarinas y taninos tienen efectos

analgésicos y propiedades antioxidantes (Villacorta et al., 2017; Sánchez et al., 2022). Iser et al. (2020) expone que las saponinas poseen efectos antimicrobianos. Los esteroides se relacionan con la disminución del colesterol (Meco et al., 2016). En la tabla 4 se presentan los resultados para azúcares reductores, con valores de 16.94 g/kg para H0, 20.25 g/kg para H1, 29.15 g/kg para H2, 26.93 g/kg para H3 y 16.67 g/kg para H4, por lo que no hay diferencias significativas entre H0, H1 y H4, así mismo entre H2 y H3. Por otro lado, los azúcares reductores directos se reportaron para H0 como 9.24 g/kg, H1 como 17.64 g/kg, H2 como 28.98 g/kg, H3 como 12.18 g/kg y H4 como 16.36 g/kg, las muestras H0 y H3 no mostraron diferencias significativas. Asimismo, los azúcares reductores totales de la harina control no presentaron diferencias significativas en comparación con los de la muestra H4, ni con los azúcares reductores directos de las muestras H1, H3 y H4. Estos valores se compararon con los reportados por Garrido (2017) para la harina de chía, en la que los azúcares reductores directos son de 58.46 g/kg y los azúcares reductores totales alcanzan los 59 g/kg. Es decir, en ambos casos, dichos valores son superiores a los de todas las muestras de harina de metzal analizadas.

3.3 Evaluación microbiológica

La NOM-247-SSA1-2008 establece que, dependiendo del tipo de harina vegetal, se permiten distintos niveles de unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g). Los límites establecidos para mesófilos aerobios son de 500,000 UFC/g, mientras que para hongos y levaduras son de 1,000 UFC/g y 500 UFC/g para coliformes. En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos de UFC/g las harinas H0, H1, H2, H3 y H4 evaluados a 24, 48 y 72 h. A las 72 h los mesófilos aerobios no presentan diferencias significativas entre la harina control (H0) y tres de las harinas sometidas a tratamiento de congelación (H1, H2 y H3), aunque sí con respecto a H4. Este comportamiento es consistente con lo reportado por la International Commission on Microbiological Specifications for Foods (2005), donde se indica que la congelación



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

inhibe el crecimiento de mesófilos aerobios, pero no los elimina completamente, y que sus poblaciones pueden mantenerse estables o incluso incrementarse tras periodos prolongados de almacenamiento y descongelación. En hongos y levaduras, hay diferencias significativas entre H1 con respecto a H2, H3 y H4. Sin embargo, en las harinas H2, H3 y H4 se observó una

disminución en el número de colonias a las 72 h. Para coliformes, no se encontraron diferencias significativas entre H0 y H1 pero si hubo entre H0 y H1 con respecto a H2, H3 y H4. En general los resultados reflejan un efecto positivo de la congelación, y todos los valores se encuentran por debajo de los establecidos en la norma.

Tabla 2. Análisis químico-proximal de las harinas H0, H1, H2, H3 y H4.

Componente (%)	H0	H1	H2	H3	H4
Humedad	12.63±0.09 ^d	6.39±0.43 ^b	5.82±0.09 ^b	9.84±0.23 ^c	4.45±0.17 ^a
Cenizas	4.92±0.02 ^a	5.13±0.14 ^a	4.71±0.02 ^a	4.70±0.48 ^a	5.99±0.09 ^b
Grasa	3.44±0.46 ^b	1.61±0.21 ^a	3.20±0.18 ^b	1.68±0.44 ^a	2.13±0.23 ^a
Fibra cruda	14.53±0.76 ^d	10.82±0.61 ^c	7.55±0.45 ^a	8.78±0.13 ^{ab}	9.14±0.29 ^b
Proteínas	2.99±0.11 ^a	3.53±0.06 ^b	3.98±0.11 ^c	4.88±0.06 ^d	3.83±0.09 ^c
Carbohidratos	61.50±1.29 ^a	72.52±1.16 ^c	74.73±0.49 ^c	70.12±0.68 ^b	74.47±0.25 ^c

H0: Control, H1: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 30 días, H2: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 60 días, H3: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 30 días y H4: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 60 días. Letras diferentes representan diferencias significativas (Turkey, $p < 0.05$). Se muestran la media \pm desviación estándar de tres réplicas por muestra; Tukey, $p < 0.05$

Tabla 3. Resultados del tamiz fitoquímico de las harinas H0, H1, H2, H3 y H4. (+): presencia y (-): ausencia.

Metabolito secundario	H0	H1	H2	H3	H4
Alcaloides	+	-	-	-	-
Insaturaciones	+	+	+	+	+
Oxhidrilos fenólicos	+	+	+	+	+
Sesquiterpenlactonas	+	+	+	+	+
Flavonoides	+	-	-	-	-
Saponinas	+	+	+	+	+
Cumarinas	+	+	+	+	+
Esteroles	+	+	+	+	+
Taninos	+	+	+	+	+

H0: Control, H1: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 30 días, H2: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 60 días, H3: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 30 días y H4: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 60 días.



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

Tabla 4. Azúcares reductores directos y totales por DNS de las harinas H0, H1, H2, H3 y H4.

Componente (g/kg)	H0	H1	H2	H3	H4
Azúcares reductores totales	16.94±5.11 ^a	20.25±2.08 ^{ab}	29.15±1.03 ^c	26.93±0.27 ^{bc}	16.67±1.48 ^a
Azúcares reductores directos	9.24±1.12 ^a	17.64±0.52 ^c	28.98±1.17 ^d	12.18±1.56 ^{ab}	16.36±2.43 ^{bc}

H0: Control, H1: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 30 días, H2: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 60 días, H3: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 30 días y H4: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 60 días. Letras diferentes representan diferencias significativas (Turkey, $p < 0.05$). Se muestran la media \pm desviación estándar de tres réplicas por muestra; Tukey, $p < 0.05$.

Tabla 5. Características microbiológicas de las harinas H0, H1, H2, H3 y H4.

Microorganismos	Tiempo (h)	H0	H1	H2	H3	H4
Mesófilos aerobios (UFC/g)	24	0.00±0.00 ^a	2.50±2.12 ^a	2.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	11.50±2.12 ^b
	48	2.50±2.12 ^a	6.50±2.12 ^b	3.00±0.00 ^a	3.50±0.71 ^a	15.00±1.41 ^c
	72	6.00±1.41 ^{ab}	8.50±4.95 ^b	3.00±0.00 ^a	5.00±1.41 ^{ab}	15.5±0.71 ^c
Hongos y levaduras (UFC/g)	24	0.0±0.00 ^a	0.50±0.71 ^a	0.0±0.00 ^a	0.0±0.00 ^a	0.0±0.00 ^a
	48	2.00±2.83 ^{ab}	4.00±1.41 ^b	0.0±0.00 ^a	0.50±0.71 ^a	0.0±0.00 ^a
	72	2.00±2.83 ^{ab}	4.00±1.41 ^b	0.0±0.00 ^a	1.00±1.41 ^a	0.0±0.00 ^a
Coliformes (UFC/g)	24	1.00±1.41 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
	48	5.50±3.54 ^b	4.00±1.41 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
	72	23.00±2.12 ^b	22.00±5.66 ^b	0.00±0.00 ^a	5.50±3.54 ^a	0.00±0.00 ^a

H0: Control, H1: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 30 días, H2: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 60 días, H3: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 30 días y H4: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 60 días. Letras diferentes representan diferencias significativas (Turkey, $p < 0.05$). Se muestran la media \pm desviación estándar de tres réplicas por muestra; Tukey, $p < 0.05$.

3.4 Resultados de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

En la Figura 1 se muestra las imágenes obtenidas mediante el estudio de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) a diferentes magnificaciones (a 500x y b 1000x) de la harina H2 que presentó mejores características en las variables evaluadas y la que podría tener potencial en aplicaciones alimentarias. En las imágenes a y b se pueden apreciar diferentes fragmentos de la harina de metzal congelada; se observa la estructura interna que tiene la harina, la cual está conformada por estructuras en forma

de hojuela con una morfología superficial en su mayoría lisa. Adicionalmente, se realizó un análisis elemental de la harina de metzal (Figura 2). En el espectro se observan picos correspondientes a carbono (56.31%), oxígeno (42.69%) y calcio (1.00%). Estos valores representan únicamente la proporción relativa de los elementos detectados por el sistema (SEM) y no deben interpretarse como la composición elemental total de la harina, ya que esta técnica no detecta elementos ligeros como hidrógeno ni cuantifica adecuadamente nitrógeno y otros microelementos presentes en materiales



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

orgánicos. Asimismo, en el espectro aparecen picos de Au provenientes del recubrimiento metálico aplicado a la muestra durante la preparación para la microscopía electrónica, por lo que no corresponden a componentes propios del material. En conjunto, los picos dominantes de carbono y oxígeno son coherentes con la

naturaleza orgánica del metzal, mientras que el calcio aparece en baja proporción como un constituyente característico de las estructuras celulares. El análisis de elementos es fundamental para su uso en la posible fabricación de diversos productos y poder darle así un valor agregado a este subproducto.

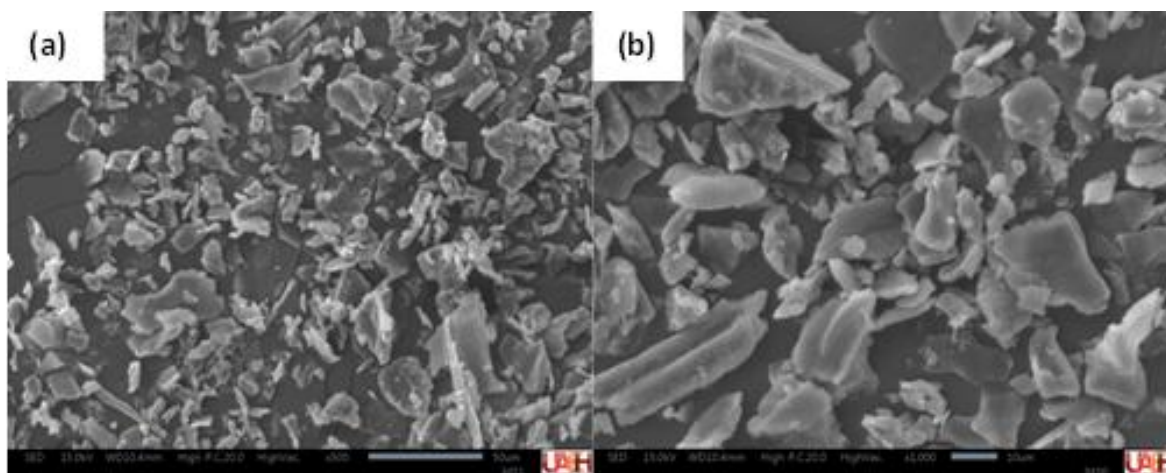


Figura 1. Micrografías de harina de metzal congelada a -20°C durante 60 días a diferentes magnificaciones: a) 500x y b) 1000x.

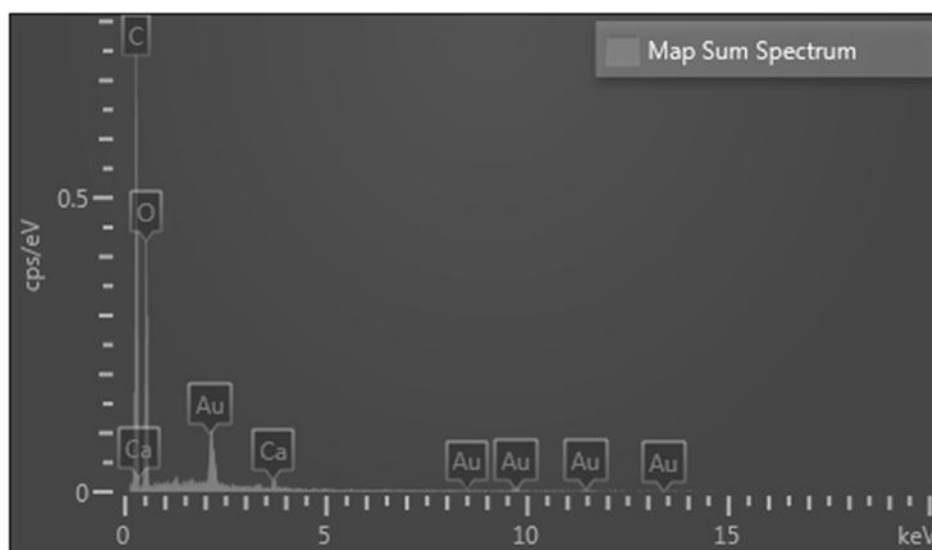


Figura 2. Análisis elemental de harina de metzal congelada a -20°C durante 60 días (H2).



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

3.5 Resultado de capacidad de retención de agua y aceite

La capacidad de retención de agua para todas las harinas se muestra en la tabla 6 donde no se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre H0, H2 y H3, con valores que va desde 3.66 a 3.86; ni entre H1 y H4, sin embargo, si existen diferencias entre H0, H2 y H3 con respecto a H1 y H4. cuyos resultados se encuentran entre 3.21 y 2.99. Dichos números se asemejan a los obtenidos por Pinzón (2022) para la harina de Sacha Inchi. Adicionalmente, en la tabla 6 se presenta la capacidad de retención de aceite de todas las harinas (H0, H1, H2, H3 y H4), además de mostrar que no existieron diferencias

significativas entre H0, H2 y H4 teniendo valores de 1.38 g aceite/g muestra para la primera y 1.47 g aceite/g muestra para las dos últimas respectivamente, de igual manera no hay diferencias significativas entre H1 y H3 con valores de 1.81 g aceite/g muestra y 1.97 g aceite/g muestra respectivamente estos resultados se compararon con los obtenidos por Granito et al. (2009) donde se encontraron valores entre 1.1 y 2.2 g aceite/g muestra para harinas de Caraota Papa, Vaina Morada, lo que muestra que los resultados obtenidos se encuentran entre los rangos de dichas harinas.

Tabla 6. Capacidad de retención de agua y aceite en harinas de metzal H0, H1, H2, H3 y H4.

Muestras	CRAg (g de agua retenida/g de muestra)	CRAC (g de aceite/g de muestra)
H0	3.65±0.01 ^b	1.47±0.03 ^a
H1	3.21±0.16 ^a	1.81±0.01 ^b
H2	3.66±0.12 ^b	1.38±0.01 ^a
H3	3.86±0.30 ^b	1.97±0.14 ^b
H4	2.99±0.02 ^a	1.47±0.18 ^a

H0: Control, H1: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 30 días, H2: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 60 días, H3: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 30 días y H4: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 60 días. Letras diferentes representan diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$). Se muestran la media \pm desviación estándar de tres réplicas por muestra; Tukey, $p < 0.05$.

3.6 Resultado de rendimiento

En la Figura 3 se muestra el rendimiento de la harina de metzal fresco (H0) y de las harinas sometidas a congelación (H1, H2, H3 y H4). Se observa que el rendimiento de la harina control (H0) fue superior al de las demás muestras, con un valor de 13.78 %, mientras que los rendimientos de H1, H2, H3 y H4 fueron de 13.50 %, 11.7 %, 12.1 % y 11 % respectivamente. Estos

resultados son inferiores a los reportados por Escobar et al. (2016) para harina de chontaduro y papa china. La diferencia puede atribuirse, en el caso de la harina control, a las características propias de la materia prima, y en las harinas congeladas, además, a las temperaturas y tiempos de congelación aplicados al metzal.



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

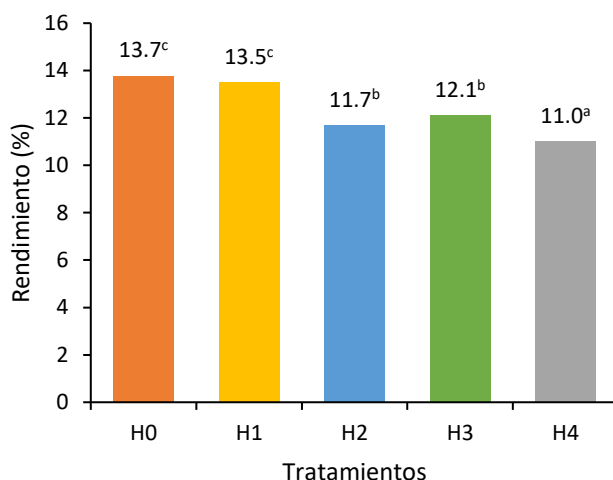


Figura 3. Rendimiento de las harinas H0, H1, H2, H3 y H4. H0: Control, H1: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 30 días, H2: Harina de metzal sometido a congelación a -20 °C por 60 días, H3: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 30 días y H4: Harina de metzal sometido a congelación a -80 °C por 60 días. Letras diferentes representan diferencias significativas (Turkey, $p < 0.05$).

4. Conclusiones

El estudio de la harina de metzal congelado (-20 °C y -80 °C) evidenció la relevancia de este subproducto del maguey como un recurso con potencial alimentario y tecnológico. Los resultados obtenidos demuestran que el metzal presenta características químico-proximales, fisicoquímicas y fitoquímicas que lo posicionan como una materia prima viable para el desarrollo de productos con valor agregado. Asimismo, se comprobó que la congelación es una alternativa eficaz para prolongar su vida útil, aunque puede generar alteraciones en la estructura celular dependiendo de las condiciones de almacenamiento.

Entre las formulaciones evaluadas, la harina H2 destacó por su estabilidad de color, contenido adecuado de cenizas y grasas, y una reducción significativa en la población microbiana, sin diferencias notables en la capacidad de retención de agua y aceite respecto a la harina control. Estas propiedades hacen de H2 la opción más prometedora para aplicaciones alimentarias, al combinar estabilidad, inocuidad y un perfil composicional equilibrado.

En conjunto, esta investigación no solo amplía el conocimiento científico sobre la conservación del metzal, sino que también establece bases para su incorporación en procesos industriales, favoreciendo la diversificación de ingredientes funcionales y generando beneficios económicos y sociales en las comunidades productoras de maguey.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación de ética: No aplica

Contribución de los autores:

Ilse América Olvera Franco: Investigación
Aurora Quintero Lira: Supervisión y redacción
Javier Piloni Martini: Metodología y redacción
César Uriel López Palestina: Análisis formal
Wendy Delgadillo: Metodología
José Esteban Aparicio Burgos: Metodología



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del artículo.

Referencias

1. AACC. (2000). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists* (10th ed.). American Association of Cereal Chemists, Inc.
2. Abarca Vargas, R., & Vera, A. (2019). Nutritional value of *Agave salmiana* and its potential application in food products. *Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 51–60. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3427-2>
3. AOAC. (1997). *Official methods of analysis of AOAC International* (16th ed.). AOAC International.
4. AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International* (17th ed.). AOAC International.
5. AOAC. (2010). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). AOAC International.
6. AOAC. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). AOAC International.
7. Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4ª ed.). Pearson Educación.
8. Balam Díaz, G. (2024, 18 de abril). La agroindustria del maguey pulquero en Hidalgo. *La Jornada del Campo*. <https://www.jornada.com.mx/campos>
9. Borrego, F., González, M., & Ramírez, L. (2016). Evaluación de la harina de agave como fuente de fibra dietética. *Revista de Ciencias Alimentarias*, 14(2), 45–54. Universidad Autónoma Metropolitana.
10. Bravo Vargas, A. (2014). *Vocabulario náhuatl del maguey y el pulque*. Zempoala, Hidalgo, México: Edición del autor.
11. Chaves Yela, E., Castillo, D., & López, A. (2022). Effect of freezing on nutritional and microbiological quality of plant-based flours. *Food Research International*, 157, 111418. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111418>
12. COFEPRIS. (2022). *Manual de lineamientos sanitarios para alimentos procesados*. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. <https://www.gob.mx/cofepris>
13. Cuervo-Parra, Jaime Alioscha, Teresa Romero-Cortes, Raúl Román Aguilar, Julio Valle Hernández, y José E. Aparicio-Burgos. 2024. Identificación morfológica de hongos aislados de plantas de *Garcinia mangostana*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15 (5). México. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i5.3575>
14. Dirección General de Normas. (1978, 23 de mayo). NMX-F-317-S-1978: Determinación de pH en alimentos. Diario Oficial de la Federación.
15. Domínguez-Guadarrama, J. A., Juárez-Flores, B., & García-Díaz, S. (2018). Caracterización de compuestos bioactivos en subproductos del agave. *Agrociencia*, 52(4), 567–580. <https://doi.org/10.35196/agrociencia2018.52.4.567>
16. Escobar, M., Ramírez, P., & López, H. (2016). Conservación de harinas vegetales bajo congelación. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(1), 77–86.
17. Figueredo Urbina, C., Moreno, J., & Rojas, L. (2023). Impacto de la congelación en la calidad microbiológica de harinas vegetales. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 14(2), 89–101.



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

- <https://doi.org/10.37845/rvcta.2023.14.2.89>
18. García, J., Pérez, A., & Torres, M. (2016). Harinas alternativas: propiedades y usos. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 21(2), 33–42.
 19. García, R., Martínez, J., & Herrera, P. (2012). *Manual de procesos agroindustriales*. Universidad Autónoma de Chapingo. <https://chapingo.mx/manual>
 20. Garrido, A. (2017). *Evaluación de harinas funcionales a partir de subproductos agroindustriales* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM. <http://repositorio.unam.mx/tesis/12345>
 21. Granito, M., Brito, Y., & Torres, A. (2009). Promoción de alimentos funcionales. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 47–57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627227006>
 22. Guiñazú Fernández, R., Martínez, P., & Ferrer, A. (2020). *Evaluación de propiedades de harinas no convencionales*. Universidad Politécnica de València.
 23. Hernández Pérez, O. E. (2025). *Elaboración de quesos tipo panela con leche bovina adicionando harina de metzal* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Repositorio UA EH. <https://repository.uaeh.edu.mx/handle/123456789/0000>
 24. ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). (2005). *Microorganisms in foods 6: Microbial ecology of food commodities*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b100915>
 25. Iser, M., López, D., & Reyes, L. (2020). Efectos de la congelación en la conservación de compuestos bioactivos en matrices vegetales. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 30(1), 45–55.
 26. Martínez, L., Ramírez, G., & Pineda, F. (2019). *Informe sobre producción agroindustrial del maguey*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
 27. Mathias Rettig, C., & Ah Hen, K. (2014). Freezing impact on plant food matrices: A review. *Food Reviews International*, 30(3), 241–259. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.913078>
 28. Meco López, J., Torres, E., & García, D. (2016). Efecto de la congelación en productos vegetales. *Journal of Food Engineering*, 180, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.009>
 29. Mendoza, L. (2007). Usos tradicionales del maguey. *Ciencias*, 87, 40–49. <https://revistas.unam.mx/index.php/ciencias/article/view/11111>
 30. Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
 31. NMX-F-615-NORMEX. (2018). *Alimentos – Determinación de acidez titulable en productos alimenticios – Método de prueba*. Dirección General de Normas, Secretaría de Economía.
 32. Pinzón, P. A. (2022). Caracterización de las propiedades tecnológicas de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) para su aprovechamiento en un producto panificado [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Universidad de La Salle.



Artículo de investigación

Olvera-Franco et al., 2025

33. Ramman, K. (2006). *Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis*. New India Publishing Agency.
34. Rodríguez, C. (2011). *Agave y desarrollo rural en México*. Universidad Autónoma Metropolitana.
<http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/1234>
35. SAGARPA. (2018). *Estadísticas de producción de maguey y pulque en México*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
<https://www.gob.mx/sagarpa>
36. Salinas, M. (2013). Determinación de la actividad antioxidante en frutas y vegetales: Métodos y aplicaciones. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 159–166.
37. Sánchez Llodrá, R., Pérez, M., & Torres, F. (2022). Cambios en propiedades fisicoquímicas de harinas vegetales bajo congelación. *Alimentos Hoy*, 31(2), 66–78.
<https://doi.org/10.1590/alh.2022.31.2.66>
38. Secretaría de Salud (SSA). (2008). NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación.
https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5100356
39. SEMARNAT. (2019). *Manejo sostenible del maguey en zonas áridas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<https://www.gob.mx/semarnat>
40. Sepúlveda, Cindy T., & Zapata, José E. (2019). Efecto de la Temperatura, el pH y el Contenido en Sólidos sobre los Compuestos Fenólicos y la Actividad Antioxidante del Extracto de Bixa orellana L. Información tecnológica, 30(5), 57-66.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500057>
41. Valdivienzo, P. (2019). *Caracterización de harinas vegetales congeladas para uso alimentario* [Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara]. Repositorio UdeG.
<https://hdl.handle.net/20.500.12104/12345>
42. Vásquez, R., Ortega, D., & León, J. (2016). Efecto de la congelación sobre harinas vegetales. *Revista Peruana de Ciencias Alimentarias*, 4(1), 22–30.
<https://doi.org/10.3390/rpca2016.4.1.22>
43. Vásquez-Lara, F., Méndez, L., & Ríos, J. (2021). Innovaciones en la industrialización del maguey. *Revista Mexicana de Agroindustria*, 12(3), 78–91.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672967301007>
44. Villacorta, M., López, G., & Herrera, N. (2017). Conservación de harinas mediante congelación. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 18(2), 55–64.
<http://revtecali.org/2017/18/2/55>
45. Villar Lozano, A. (2021). *Propiedades funcionales de la harina de agave en panificación* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio UAQ.
<https://ri.uaq.mx/handle/123456789/0000>