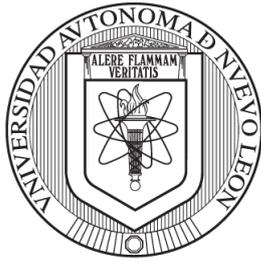


Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos



Publicado en julio 2025

Publicación Semestral



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

**Una publicación de la
Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dr. En Med. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Mario Alberto Garza Castillo
Secretario General

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo
Secretario Académico

Mtro. Mario Emilio Gutiérrez Caballero
Abogado General de la UANL

Dr. José Javier Villarreal Álvarez Tostado
Secretario de Extensión y Cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Dirección de Editorial Universitaria

Dra. Diana Reséndez Pérez
Coordinadora de la Facultad de Ciencias Biológicas

Dr. Juan Gabriel Báez González
idcyta@uanl.mx
Editor responsable

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Vol. 10 No. 2, julio 2025, es una publicación semestral editada y publicada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria San Nicolás de los Garza, Nuevo León. Difusión vía red de cómputo https://idcyta.uanl.mx/index.php/i_idcyta@uanl.mx. Editor responsable: Dr. Juan Gabriel Báez González.

Número de reserva de derechos al uso exclusivo del título *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2024-011513431400-102, de fecha 15 de enero de 2024.

ISSN 2448-7503.

Fecha de la última modificación, julio de 2025.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Esta publicación en su integridad y los derechos contenidos en ella, están protegidos por la Ley Federal de Derecho de Autor y la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial por lo que no podrá ser reproducida con fines comerciales sin autorización del editor. Asimismo, queda prohibido cualquier uso

sobre esta publicación, sea total o parcialmente, con fines de entrenamiento de cualquier clase de inteligencia artificial, minería de datos y textos incluyendo, pero no limitado a la generación de publicación de obras derivadas o contenidos basados total o parcialmente en esta publicación y cualquiera de sus partes pertenecientes a la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Las violaciones a estas disposiciones constituyen una infracción en materia de comercio, derechos de autor y un delito.

Evaluación de la composición proximal, propiedades fisicoquímicas y funcionales de harina precocida de camote de cerro (*Dioscorea remotiflora*)

Evaluation of the proximate composition, physicochemical and functional properties of precooked wild yam flour (*Dioscorea remotiflora*)

Estrada-Girón, Y.^{1*}, Bravo-Ramírez, G.E.¹, Fernández-Escamilla, V.V.A.², T.J Jaime-Ornelas³, Martín-del-Campo A¹, and R.M. Esparza-Merino¹

¹⁾ Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara CUCEI, Blvd. Marcelino García Barragán #1421, Guadalajara Jalisco, 44430. ²⁾ Departamento de Ciencias Tecnológicas, Universidad de Guadalajara CUCIENEGA, Av. Universidad 1115, Ocotlán, Jalisco, 47820. ³⁾ Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara CUCBA, Cam. Ramón Padilla Sánchez 2100, Zapopan, Jalisco, 44600. *Correo: mara.estrada@academicos.udg.mx

RESUMEN

El camote de cerro (*Dioscorea remotiflora*) es un tubérculo rico en carbohidratos, consumido principalmente como botana hervida. Para diversificar su uso, se obtuvo la harina del tubérculo por dos métodos diferentes; precocción a vapor o ebullición (12 y 20 min), seguido de secado y molienda para obtener harina. Las harinas se caracterizaron por su rendimiento, composición proximal, propiedades físicas y funcionales; la harina cruda se consideró como el control. El mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento de precocción a vapor (12 min). Con respecto a la composición proximal, las harinas tuvieron contenidos de humedad entre 5.36-7.0%, proteína entre 3.10-5.29%, y carbohidratos de 86.62-89.16%; grasa <0.63, fibra cruda <1%, y cenizas entre 1.6-1.7%. Por difracción de rayos X, se presentaron patrones cristalinos tipo A, con un pico intenso a $2\theta=17.5^\circ$ y otro a $2\theta=23.5^\circ$. Además, en las harinas precocidas se observó un patrón cristalino-amorfo, debido a la cristalinidad residual. En las harinas precocidas, la capacidad de retención de agua, el índice de solubilidad y la capacidad emulsificante incrementaron con respecto al control, excepto en la capacidad de hinchamiento. Por lo tanto, los tubérculos de camote de cerro podrían aprovecharse en la obtención de harinas para la formulación de diversos alimentos.

PALABRAS CLAVE: camote de cerro, precocción, harina, composición proximal, caracterización

ABSTRACT

Wild yam (*Dioscorea remotiflora*) is a type of tuber rich in carbohydrates, which is mainly consumed as a boiled snack. To diversify its uses, flour was obtained from tubers by two different methods: steam precooking or boiling (12 and 20 min), followed by drying and milling to obtain flour.; the control was the raw flour. The flours were characterized by their yield, proximate composition, physical and functional properties. The highest yield of 16.2% was obtained under steam precooking for 12 min. Regarding proximate composition, the flours had moisture contents between 5.36–7.0%, protein between 3.10–5.29%, and carbohydrates of 86.62–89.16%; fat <0.63, crude fiber <1%, and ash between 1.6–1.7%. X-ray diffraction revealed type A crystalline patterns, with an intense peak at $2\theta=17.5^\circ$ and another at $2\theta=23.5^\circ$. In addition, an amorphous crystalline pattern was observed in the precooked flours due to residual crystallinity. In the precooked flours, the water retention capacity, solubility index, and emulsifying capacity increased compared to the control, except for the swelling capacity. Therefore, wild yam tubers could be used to obtain precooked flour for the formulation of diverse foods.

KEYWORDS: wild yam, precooked, flour, proximate composition, characterization

INTRODUCCIÓN

Las raíces y tubérculos son considerados como una fuente alimenticia principalmente por la cantidad de carbohidratos que contienen. Además de ser de fácil acceso por su bajo costo, se utilizan en la obtención de harinas, para usos medicinales y como forraje. A diferencia de los cereales, los tubérculos se caracterizan por contener grandes cantidades de almidón resistente, y se les considera libres de gluten (Castagnino & Marina, 2022), por lo que son una alternativa en la dieta de personas alérgicas a la proteína del trigo.

Dentro de la gran variedad de tubérculos de Dioscorea, *Dioscorea alata* es uno de los tubérculo más ampliamente distribuido y cultivado alrededor del mundo, se ha reportado que su composición nutrimental es comparable con la de otros tubérculos como la papa (Shan et al., 2020). Mientras que, los tubérculos del género Dioscorea que crecen en algunas zonas de México, como en la región Ciénega de Chapala Jalisco, son principalmente las especies *D. remotiflora* y *D. parsiflora*, donde comúnmente se le conoce como camote de cerro. Este recurso agroindustrial se consume como botana hervida y constituye una de las fuentes de ingresos complementarios para los pobladores de la región de la Ciénega de Chapala (Guízar-Miranda et al., 2008).

Las harinas son una excelente alternativa en la alimentación actual y en los últimos años, debido a la tendencia en el consumo de alimentos de rápida preparación, el uso y diversificación de los tipos de harinas no convencionales ha incrementado, así como sus usos en panadería, producción de pastas o como sustituto de harinas de otras fuentes (Abiodun et al., 2014). La harina se considera un alimento de larga vida de anaquel debido a su bajo contenido de agua; además, es un ingrediente de fácil acceso.

Las harinas deben cumplir con ciertos parámetros y al mismo tiempo, deben aportar un valor nutrimental. Los parámetros funcionales más importantes que se deben medir en una harina son: capacidad de retención de agua, índice de solubilidad, capacidad de hinchamiento y capacidad emulsificante; a través de estas se evalúan las características físicas de las masas que forman las harinas. Un ejemplo de ello es qué capacidad tiene una harina para retener agua, y al ser hidratada, que porcentaje de líquido se necesitaría para tomar la consistencia deseada. Asimismo, la capacidad de esta para ser soluble en agua nos ayuda a entender qué tipo de alimentos se pueden realizar con dicha harina y si es posible utilizarla como materia prima. Por lo que, conocer las propiedades funcionales de las harinas es de utilidad para la correcta aplicación en el desarrollo de productos alimenticios (Wheat Marketing Centre, 2008).

Debido al interés en la búsqueda de métodos de conservación del camote de cerro, y debido que en la actualidad no se ha implementado alguna tecnología para su procesamiento, en este trabajo, se propuso elaborar harinas precocidas a partir de tubérculos de *D. remotiflora*, que se producen en la región de la Ciénega, y caracterizarlas en su rendimiento, composición proximal, propiedades físicas y funcionales.

MATERIAL Y MÉTODO

Preparación de la materia prima

Los tubérculos de camote de cerro (*D. remotiflora*) se compraron en la región de la Ciénega de Chápala, Jalisco con los vendedores locales. Los tubérculos se lavaron, desinfectaron, y pelaron de forma manual con un cuchillo; después se cortaron en trozos de 5-6 cm de espesor, manteniéndolos todo el tiempo en agua para evitar el pardeamiento.

Precocción y obtención de la harina de camote de cerro

La precocción del camote se realizó usando dos métodos: a vapor con el uso de una vaporera y ebullición en agua a 94 °C, por 12 y 20 min. Estas condiciones se seleccionaron con base en pruebas preliminares y por comunicación directa con vendedores de camote cocido, que señalan un tiempo de cocción completa de aproximadamente 40 minutos.

El camote, control o precocido, se cortó en rebanadas delgadas (~5 mm), y se colocó en charolas de un horno deshidratador (modelo DESH304/032014, Todumex, Jal, México), a 70° C por 6 h (o hasta una humedad $\leq 10\%$). El material seco se molió en un micropulverizador (MF 10.2, IKA-Works, USA). Las harinas molidas se tamizaron a un máximo de 10 % de retención en un tamiz no. 50 M, de acuerdo con la NMX-F-007-1982. La harina en polvo se almacenó en bolsas de polietileno hasta su posterior uso.

Composición proximal de las harinas de camote de cerro

El análisis químico de la harina cruda y precocida se realizó de acuerdo con los métodos estándar de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC International, 2002); contenido de humedad (934.01), cenizas (924.05), proteínas (960.52), grasas (960.39) y fibra cruda (962.09). Los carbohidratos se determinaron por la diferencia con los demás componentes.

Caracterización física de las harinas

El *color* de las harinas se midió con un colorímetro CR-410 con iluminante C y el observador estándar de 2° como sistema de referencia. Las mediciones se realizaron con el sistema CIELAB para obtener las coordenadas de color L* (luminosidad), a* (- verde, + rojo), b* (-azul, + amarillo). Con las coordenadas de color se calculó la diferencia total de color (ΔE) a partir de la siguiente Ec. (1)

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

donde ΔL^* , Δa^* y Δb^* representan las diferencias entre los parámetros de color (Pathare et al., 2013), de las harinas precocidas con respecto a la harina cruda.

La *difracción de rayos X* (XRD) de las harinas se realizó con 0.1 g de muestra que se depositó sobre una superficie de vidrio y se colocó en el equipo de difracción. El ángulo de difracción (2θ) se exploró de 5° a 60°, con una velocidad de barrido de 2 °C/min, una operación de 30 mA y 40 kV y con frecuencia de 0.020° (Pathare et al., 2013).

Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y funcionales

El pH de las harinas se determinó de acuerdo con la norma NOM-F-317-S-1978 (Dirección General de Normas, 1978), mediante el método de inmersión del electrodo. Se tomaron 15 g de muestra y se hidrataron con 15mL de agua destilada, a una temperatura a 20 °C. La lectura del pH se realizó directamente de la pantalla del equipo. La acidez titulable se determinó de acuerdo con el método 02-31 de la AACC. Se preparó una suspensión de harina en agua destilada, después se agregó agua destilada hirviendo, y se dejó reposar hasta el enfriamiento.

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó de acuerdo con el método de Beuchat, reportado por (Chaparro et al., 2011). A 1 g de muestra se le agregaron 10 mL de agua destilada, el pH se ajustó a 7 y se agitó con un vórtex. Posteriormente, se centrifugó a 3000 rpm por 30 min. Los resultados se expresaron como gramos de agua retenida por gramo de muestra.

El índice de solubilidad en agua (ISA) se determinó de acuerdo con el método reportado por (Lopez-Silva et al., 2022). A 2.5 g de muestra, se le adicionaron 50 g de agua destilada para agitarse durante 30 min a 3,000 rpm. De la suspensión formada se tomó una alícuota de 10 g y se centrifugó a 3,000 rpm por 15 min. El sobrenadante se decantó y se secó a 100 °C por 24 h. El gel retenido en los tubos se pesó para calcular el I.S.A de acuerdo con las Ecs. (2)-(3):

$$\text{Peso de la muestra}(g) = \frac{\text{Peso seco de la muestra}(g)}{\text{Peso seco de la muestra}(g) + \text{agua}(g)} * \text{alícuota}(g) \quad (2)$$

$$\text{ISA}(\%) = \frac{\text{Peso del sobrenadante}(g) - \text{Peso seco del sobrenadante}(g)}{\text{Peso de la muestra}(g)} * 100 \quad (3)$$

La capacidad emulsificante (CE) se determinó de acuerdo con el método reportado por (Jideani, 2011). Se mezcló 1 g de muestra con 20 mL de agua destilada, agitando durante 15 min. Se ajustó el pH a 7.0 y se llevó el volumen hasta 25 mL con agua destilada. Después se mezclaron en partes iguales (25 mL) de esta solución con aceite de

maíz y se homogeneizó por 5 min en un vórtex, finalmente se centrifugó a 1300 rpm por 10 min. El resultado se expresó en términos de porcentaje, como la altura de la capa emulsificada con respecto al total del líquido.

La capacidad de hinchamiento (CH) se determinó de acuerdo con los métodos reportados por (Ozyurt & Ötles, 2016). A 100 mg de muestra se le agregó agua destilada hasta 10 mL, agitando suavemente para dispersar la muestra. Luego se dejó en reposo durante 16 h hasta su hidratación, midiendo el volumen final que ocupó la muestra. Los resultados se expresaron en mL/g de muestra.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza ANOVA, a un nivel de confianza del 95%, usando el programa estadístico StatGraphics versión XVII. La diferencia entre medias se determinó aplicando la comparación de medias LSD de Fisher con un valor de significancia de $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de la harina

Los rendimientos de las harinas control (cruda) y precocidas se muestran en la Tabla 1. Los tratamientos térmicos aplicados redujeron significativamente ($p < 0.05$) el rendimiento de las harinas con respecto al control, que exhibió el mayor porcentaje (24.46%). De los tratamientos con calor evaluados, el mayor rendimiento se obtuvo a con la precocción a vapor por 12 min; bajo estas condiciones el camote precocido tuvo una consistencia firme, intacta, sin la pérdida visible de tamaño, previo a corte y deshidratado. Esto se atribuye a que el vapor penetra los poros del material, sin que se genere un daño importante de la estructura del material, por lo que no colapsó y mantuvo la forma del material, a las condiciones estudiadas.

Por otro lado, el menor rendimiento se obtuvo para el tratamiento de ebullición por 20 min, obteniendo casi la mitad del rendimiento respecto al tratamiento control. Con la ebullición, el camote presentó una desintegración parcial y mayor reblandecimiento al tacto debido al contacto directo con el agua el cual, alteró la estructura ordenada de las moléculas de almidón durante el procesamiento térmico (Karunarathna et al., 2024). Aunque la cocción no fue completa, tanto el tamaño de los trozos de camote, como el tiempo de exposición en agua a ebullición, causa que el tejido vegetal se ablande más rápido, y que los gránulos de almidón se hinchen y gelatinicen (Badui Dergal, 2006). Además, el hinchamiento permite la liberación de la amilosa fuera del gránulo, por lo que ésta queda en dispersión coloidal con los gránulos intactos en suspensión. De ahí que, la pérdida del material por efecto del método de tratamiento influye en el rendimiento de las harinas. También se pudo observar que el tiempo del tratamiento térmico influyó en el rendimiento de las harinas, debido a que, a mayor tiempo de aplicación del tratamiento térmico, se obtuvo un menor rendimiento, como también lo señalan Karunarathna et al., (2024) en almidones resistentes.

Tabla 1. Rendimiento de harinas de camote de cerro crudo (control) y precocido bajo diferentes tratamientos.

Rendimiento (%)	Tratamientos				
	Control	Vapor		Ebullición	
		12 min	20 min	12 min	20 min
	24.46 ± 1.8 ^e	16.27 ± 0.9 ^{cd}	14.79 ± 0.7 ^{bc}	14.09 ± 1.4 ^{ab}	13.63 ± 0.8 ^a

Superíndices con letras diferentes indican una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, con la prueba estadística de LSD (Least Significant Difference)

Composición proximal de las harinas

En la Tabla 2 se muestra la composición proximal de las harinas evaluadas. El contenido de humedad de las harinas estuvo entre el 5.38 al 7.0%, estos valores son menores al parámetro establecido por la norma mexicana NOM-147-SSA1-1996 (Secretaría de Salud, 1996), la cual, señala que una harina comestible debe tener como límite máximo un 15% de humedad. Por lo tanto, las harinas de camote de cerro cumplen con las especificaciones de la norma.

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Aunque los valores de humedad entre los tratamientos fueron muy cercanos, estadísticamente, este parámetro fue significativo ($p < 0.05$) con respecto al control, al observarse valores mayores, lo que indica que los tratamientos inducen a una mayor absorción de agua. El contenido de humedad es uno de los parámetros más importantes para el almacenamiento de los productos alimenticios en polvo, ya que le confiere estabilidad química, física y microbiológica durante la vida de anaquel (Isengard, 2001).

Con respecto al contenido de cenizas, todas las harinas presentaron un contenido similar al del control de 1.6-1.7%. Estos valores son bajos con respecto a los reportados por (Guízar-Miranda et al., 2008) en tubérculos de camote de cerro crudo. Las diferencias en el contenido de cenizas de otras investigaciones pueden atribuirse al tipo de suelo y ambiente donde se cultivan los camotes y la época de cosecha. En harinas de tubérculos como la papa criolla amarilla, el contenido de cenizas se ha reportado en 3.20%, sin embargo, hay que considerar el contenido de cenizas varía en relación con la variedad del alimento. Es decir, las papas son tubérculos ricos en hierro, potasio y sodio, en comparación con la mayoría de los tubérculos (Chisenga et al., 2019). La harina de camote, aunque contiene la mitad de los minerales (cenizas) de la papa, no pierde su contenido durante los tratamientos aplicados para su precocción, con respecto al control.

Los tubérculos no representan una fuente importante de grasa; esta característica, desde el punto de vista tecnológico, es una ventaja para la vida de anaquel de la harina, ya que puede ser menos propensa a la rancidez. Aunque hubo diferencia estadística entre el control y los tratamientos ($p < 0.05$); en general, los valores fueron muy bajos ($< 0.63\%$) y similares entre los tratamientos de precocción evaluados.

El contenido de proteínas en una harina es muy importante ya que, influye en sus propiedades funcionales, como la capacidad de hinchamiento y solubilidad (Asranudin et al., 2021). Las harinas de camote de cerro presentaron un contenido de proteínas de 3.10 a 5.29% en base húmeda. Estos valores son superiores a los reportados para otras variedades de ñame (0.7-3.1%) (Shan et al., 2020); y para diferentes variedades de papa criolla comunes en el mercado (2.3-2.5%) pero, es menor al de la harina obtenida a partir de ñame morado sometido a tratamiento térmico (6.53%, en base seca) (Asranudin et al., 2021). En general, los tubérculos contienen proteínas en menores cantidades que otros alimentos, siendo la papa uno de los tubérculos con mayor contenido proteico (Guízar-Miranda et al., 2008). Por lo tanto, se puede afirmar que la harina de camote de cerro obtenida por los métodos evaluados podría considerarse con mayor contenido proteico respecto a la papa criolla.

Tabla 2. Análisis químico proximal de harinas de camote de cerro crudo y precocido bajo diferentes tratamientos.

Componente (%)	Tratamientos				
	Control	Vapor		Ebullición	
		12 min	20 min	12 min	20 min
Humedad	5.38 ± 0.39 ^a	5.70 ± 0.28 ^a	7.00 ± 0.17 ^b	6.95 ± 0.75 ^b	5.55 ± 0.26 ^a
Cenizas	1.61 ± 0.01 ^a	1.60 ± 0.001 ^a	1.61 ± 0.006 ^a	1.70 ± 0.185 ^a	1.60 ± 0.051 ^a
Grasas	0.63 ± 0.04 ^c	0.55 ± 0.002 ^a	0.61 ± 0.001 ^b	0.55 ± 0.001 ^a	0.55 ± 0.001 ^a
Proteínas	5.29 ± 0.13 ^c	4.23 ± 0.04 ^b	4.10 ± 0.11 ^b	3.30 ± 0.04 ^a	3.10 ± 0.11 ^a
Fibra cruda	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Carbohidratos	87.02 ± 0.28 ^{ab}	87.86 ± 0.32 ^c	86.62 ± 0.22 ^a	87.45 ± 0.53 ^a	89.16 ± 0.19 ^d

Superíndices con letras diferentes indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, con la prueba LSD (Least Significant Difference).

Se sabe que el tratamiento térmico, dependiendo de su intensidad, puede inducir a reacciones de desnaturalización de las proteínas (Yang et al., 2021). En este caso, el tratamiento de ebullición a 20 min causó una mayor pérdida de proteínas (3.10%), con respecto al tratamiento control (5.20%). Mientras que, el tratamiento de vapor fue menos severo contra la pérdida de proteínas, disminuyendo alrededor del 1% del contenido inicial. Estadísticamente, hubo

una diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de proteína entre los tratamientos y el control, así como entre tratamientos.

Con respecto al contenido de fibra cruda, tanto la harina control como las precocidas presentan un contenido $< 0.1\%$, casi nulo (Tab. 2); por lo tanto, se puede decir que la harina de camote de cerro no es una fuente rica en fibra. A diferencia de otras harinas de tubérculos, como la de mandioca o la de arrurruz, estas contienen mayor cantidad de fibra cruda entre 1.18 y 1.79% (en base seca), respectivamente (Marta et al., 2023). Por otro lado, en las harinas de tubérculos y cereales, los carbohidratos suele ser el componente mayoritario (con respecto a los demás componentes), esto debido al contenido de almidón (Dussán-Sarria et al., 2019) y, por ello, proporcionan mayor aporte calórico en la dieta diaria. Las harinas estudiadas presentaron contenidos de carbohidratos entre 86.62 y 89.16%, incluyendo el control. Estos porcentajes son cercanos al de otras harinas como la de ñame morado con 85.84% de carbohidratos (Asranudin et al., 2021). Asimismo, de acuerdo con los resultados de la Tab (2), el tipo de tratamiento térmico y el tiempo, influyen de manera significativa en el contenido de carbohidratos ($p < 0.05$); coincidiendo con lo indicado por Karunarathna et al. (2024) quien señala que el tiempo de contacto con el agua, afecta la estructura del almidón.

Propiedades físicas de las harinas

Evaluación del color

El color de las harinas es un parámetro que puede influir en su aplicación o uso e incluso, facilita la estandarización del producto; es primordial en los criterios de aceptación y rechazo de la materia prima y, además, puede definir el proceso alimenticio que se debe aplicar (Dussán-Sarria et al., 2019). En la Tab. (3) se presentan los parámetros de color de las harinas de camote de cerro. La luminosidad (L^* ; $L^*=0$: negro; $L^*=100$: blanco) de las harinas tiende a la región clara o blanca. Aunque el camote de cerro crudo tiene un color amarillo claro a la vista, los procesos de precocción y deshidratado, incrementan de forma significativa ($p < 0.05$) los valores de L^* . El incremento es mayor en los tratamientos de ebullición, que presentan mayor luminosidad, en comparación con los de vapor y el control, lo que se atribuye a la pérdida de pigmentos, por degradación térmica y lixiviación al agua de cocción (Sun et al., 2020). Mientras que, en el control, la temperatura de deshidratación pudo desarrollar reacciones de pardeamiento entre carbohidratos y proteínas, formando algunos productos de bajo peso molecular o melanoidinas (Badui Dergal, 2006), lo que reduce la luminosidad de la harina.

Tabla 3. Parámetros de color de harinas de camote de cerro crudo y precocido bajo diferentes tratamientos.

Tratamiento	L^*	a^*	b^*	ΔE	
Control	83.03 ± 0.01^a	3.09 ± 0.01^c	15.16 ± 0.02^d	-	
Vapor	12 min	86.54 ± 0.96^b	1.42 ± 0.09^b	12.43 ± 0.39^b	4.77 ± 0.93^a
	20 min	87.02 ± 0.60^b	1.40 ± 0.30^b	14.35 ± 1.42^c	4.58 ± 0.87^a
Ebullición	12 min	90.67 ± 0.42^c	0.14 ± 0.04^a	11.05 ± 0.39^a	9.17 ± 0.47^b
	20 min	90.37 ± 1.13^c	0.18 ± 0.08^a	11.03 ± 0.22^a	8.93 ± 0.96^b

L^* : Luminosidad; a^* (+:rojo, -:verde); b^* (+:amarillo, -:azul). Superíndices con letras diferentes entre filas indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), con la prueba LSD (Least Significant Difference).

Los parámetros a^* (+: rojo; -: verde) y b^* (+: amarillo; -: azul) de las harinas evaluadas es positivo, e indica que las harinas tienen un color amarillo claro con ligeras tonalidades rojas. Para la diferencia total de color (ΔE), el tratamiento de ebullición presenta la mayor diferencia respecto al tratamiento control. Cuando los valores de ΔE son > 1.5 indican que a simple vista hay un cambio perceptible en el color de las muestras (Shan et al., 2020); al comparar los tratamientos, las harinas precocidas presentaron un color más beige respecto al tratamiento control. Por lo tanto, se puede afirmar que, el tratamiento térmico aplicado influye en el color de las harinas obtenidas del camote de cerro ($p < 0.05$).

Difracción de rayos X

En la Figura 1 se muestran los difractogramas de Rayos X (XRD) de la harina cruda y las harinas precocidas con los diferentes pretratamientos. En general, en todas las muestras se identifica el pico de cristalinidad característico de los almidones, con mayor o menor intensidad. Todos los tratamientos mostraron patrones cristalinos tipo A, con un pico pequeño en aproximadamente $2\theta=15^\circ$, y otro muy prominente a $2\theta=17.5^\circ$; así como otro pico a $2\theta=23.5^\circ$. Este último pico es más ancho en el difractograma de la harina cruda, debido a que el almidón está intacto. Asimismo, los XRD de las harinas precocidas muestran un patrón cristalino-amorfo con picos anchos, pero con una menor cristalinidad indicada por la menor intensidad de los picos que en la harina cruda, debido a la fusión parcial de los gránulos de almidón durante los pretratamientos. En las harinas a ebullición se presentó una menor intensidad en los picos, con una apertura más ancha. Sin embargo, la cristalinidad se mantiene en mayor medida en los tratamientos a vapor, ya que los picos fueron casi similares al control, pero con una leve disminución en la intensidad. Estos resultados pueden deberse a la cristalinidad residual que permaneció después de los pretratamientos, debido a la gelatinización parcial del almidón. Patrones de XDR similares se han reportado en almidón de maíz o en harina de ñame morado (Núñez-Santiago et al., 2004; Asranudin et al., 2021).

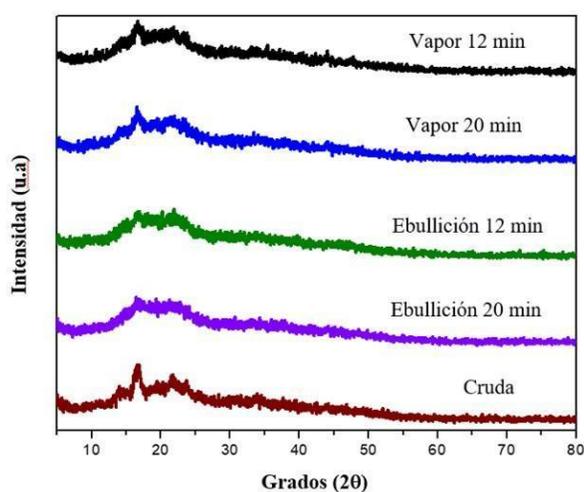


Figura 1. Difracción de Rayos X de harinas de camote de cerro crudo y precocido bajo diferentes tratamientos. *Propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas*

Con respecto al pH, se observó un aumento significativo ($p < 0.05$) para todos los tratamientos en comparación al control (Tab. 4). Sin embargo, los valores de pH de las harinas precocidas fueron muy similares entre sí, con un valor promedio de pH de 7.5, en la región de pH neutro. Estos resultados están ligeramente por arriba de los valores de pH reportados para harina de yuca con 6.1 (Techeira et al., 2014) o para harinas de *D. decorticans* y *D. trifida* (6.40-6.50). Es de notarse que la harina cruda presentó un pH de 2.35, en la región del ácido, debido a que los tubérculos pueden contener fitoquímicos como el taro (*Colocasia esculenta*) que contiene alcaloides, taninos, terpenoides, ácido fítico, saponinas o fenoles (Krishnapriya & Suganthi, 2017), que le otorgan un bajo pH. En concordancia, la harina cruda presentó mayor acidez (54% superior a las harinas precocidas) que las harinas precocidas. Por lo que, el tratamiento térmico es indispensable para degradar los compuestos químicos naturales del camote y que pueda ser consumida sin causar daños a la salud, al ser considerados como antinutricionales.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de harinas de camote de cerro crudo y precocido bajo diferentes tratamientos.

Parámetro (%)	Tratamientos				
	Control	Vapor		Ebullición	
		12 min	20 min	12 min	20 min
<i>Fisicoquímicos</i>					
pH	2.35 ± 0.3 ^a	7.39 ± 0.52 ^{bc}	7.31 ± 0.70 ^b	7.98 ± 0.30 ^d	7.35 ± 0.07 ^{bc}

Acidez	4.90 ± 0.8 ^e	2.25 ± 0.31 ^a	2.39 ± 0.12 ^b	3.34 ± 0.42 ^d	2.62 ± 0.09 ^c
<i>Funcionales</i>					
CRA	2.28 ± 0.10 ^a	3.57 ± 0.22 ^b	3.57 ± 0.34 ^b	3.57 ± 0.32 ^b	3.56 ± 0.04 ^b
ISA	4.35 ± 0.10 ^a	4.90 ± 1.02 ^a	4.46 ± 0.29 ^a	4.41 ± 0.30 ^a	4.46 ± 0.22 ^a
CE	30.1 ± 0.0 ^a	41.0 ± 7.07 ^b	38.0 ± 4.24 ^{ab}	32.0 ± 4.27 ^{ab}	30.0 ± 1.41 ^a
CH	1.01 ± 0.0 ^b	0.5 ± 0.0 ^a	0.5 ± 0.0 ^a	0.5 ± 0.0 ^a	0.5 ± 0.0 ^a

CRA: Capacidad de Retención de Agua; ISA: Índice de Solubilidad en Agua; CE: Capacidad Emulsificante; CH: Capacidad de Hinchamiento. Superíndices con letras diferentes indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, con la prueba LSD (Least Significant Difference)

De acuerdo con la Tabla 4, la capacidad de retención de agua (CRA) de las harinas fue similar entre los tratamientos de vapor y ebullición, por lo que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0.05$); aunque con respecto al control, si hubo diferencia estadística ($p < 0.05$). Esto se debe a que cuando se aplica el tratamiento con calor, los gránulos de almidón (amilosa) comienzan a absorber agua en las zonas inter micelares amorfas que son menos organizadas y a su vez, son las más accesibles. A medida que aumenta la temperatura y el tiempo del tratamiento térmico, el gránulo del almidón retiene más agua y, en consecuencia, comienza a hincharse, pero sin llegar a la retención máxima debido a que solo se realiza una precocción del camote de cerro. Entonces, como se mencionó anteriormente, los gránulos de almidón dispersos en suspensión presentan una retrogradación debido a la insolubilización de la amilosa; tal precipitación depende del tipo de almidón, su contenido y temperatura de proceso (Awuchi et al., 2019; Badui Dergal, 2006).

La harina de camote de cerro precocido tuvo un índice de solubilidad (ISA) ligeramente superior al control ($p < 0.05$). Al comparar los valores de ISA entre las harinas obtenidas con camote de cerro precocido no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos térmicos aplicados tal como se aprecia en la Tabla 4. Cuando el tratamiento térmico es muy severo o prolongado, las interacciones que existen entre las cadenas de almidón dentro de las regiones amorfas y cristalinas se ven afectadas de manera permanente, ocasionando que las cadenas de almidón dentro de los gránulos se vuelven más amorfas y, en consecuencia, disminuyen su solubilidad con el agua (Hoover, 2010). En este caso, las condiciones empleadas en los tratamientos de ebullición y de vapor, no modificaron de forma relevante este parámetro. En un estudio realizado por (Rodríguez et al., 2006) en harina de yuca obtenida con un tratamiento térmico más prolongado, se obtuvieron valores de ISA de alrededor de 15%. Por lo tanto, podemos inferir que el tiempo de precocción del tubérculo influye en el ISA de la harina que se obtiene a partir de éste. En comparación con la harina de yuca (~3.8%), los resultados con el camote de cerro están ligeramente por debajo, en alrededor de 5%. Es probable que el CRA y el ISA presenten valores más bajos en la harina de camote de cerro ya que este tubérculo contiene un porcentaje de alrededor del 5% más alto de almidón, y aunque a temperaturas altas es soluble, bajo las condiciones estudiadas no alcanza el 100% de gelatinización (Asranudin et al., 2021).

Con relación a la capacidad emulsificante (CE) de las harinas, ésta aumentó de forma significativa ($p < 0.05$) en las harinas tratadas con vapor, y el tratamiento de ebullición a 12 min; mientras que fue igual para los tratamientos control y ebullición de 20 min (Tab. 4). Esta propiedad está directamente relacionada con el contenido de proteínas, así como con la composición de aminoácidos presentes en las harinas. Debido a que la harina de vapor a 12 min es la que contiene mayor porcentaje de proteínas, su capacidad emulsificante aumenta. No obstante, la harina a ebullición por 12 min contiene menor cantidad de proteínas debido a la desnaturalización ocasionada por el tratamiento térmico, lo cual disminuye su CE. Sin embargo, en la conformación nativa de las proteínas globulares de los granos de cereales, los aminoácidos polares están expuestos hacia la fase acuosa, lo que favorece la emulsificación y propiedades espumantes (Yekta et al., 2023), pero esto a su vez depende del tipo y de la intensidad del tratamiento al que se expongan estos componentes.

Por otro lado, la capacidad de hinchamiento (CH) es una propiedad relacionada directamente con la cantidad de proteínas presentes en las harinas; al disminuir su contenido en las harinas precocidas, este valor disminuyó. Aunque no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la CH de las harinas obtenidas con los tratamientos térmicos de precocción de camote de cerro evaluados ($p > 0.05$) evaluados; si hubo diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos térmicos de precocción y el control (Tabla 4). Esta propiedad es de particular interés para la preparación de alimentos viscosos como sopas, salsas, purés y productos horneados, donde se requiere una buena interacción proteína-agua (Awuchi et al., 2019).

CONCLUSIÓN

El camote de cerro es tipo de tubérculo poco aprovechado y del cual, aún no existe una tecnología establecida para su procesamiento industrial. Por ello, para diversificar sus aplicaciones, se estudiaron diferentes métodos para obtener su harina y caracterizarla. El tipo de precocción, vapor o ebullición influye en el rendimiento, ya que con el tratamiento térmico se pierden materiales, sobre todo por ebullición. Asimismo, el contenido de proteína y carbohidratos disminuyó, pero las pérdidas fueron menores con la precocción de vapor. Las harinas presentaron alta luminosidad, de color amarillo claro y con ligeras tonalidades rojas. De manera que, los parámetros de color se vieron modificados en función del tratamiento térmico, y fueron favorables ya que la precocción dio un color más claro a la harina al incrementar la luminosidad. Los patrones de difracción de las harinas del tratamiento con vapor presentaron el pico de cristalinidad a 17° , por lo que el almidón no está completamente gelatinizado; a diferencia de la precocción a ebullición donde el pico muestra menor intensidad.

Con respecto al pH y la acidez, todos los tratamientos dieron valores en un intervalo corto, de manera que cualquiera de los métodos evaluados resulta efectivo en la reducción de componentes considerados como perjudiciales, principalmente los fitoquímicos. Mientras que, para las propiedades funcionales de las harinas de camote de cerro, capacidad de retención de agua y el índice de solubilidad de agua incrementaron en las harinas de camote precocido, lo que indica que hubo una modificación del gránulo de almidón como consecuencia del tratamiento térmico. Asimismo, la capacidad emulsificante incrementó debido a la desnaturalización parcial de las proteínas; mientras que, la capacidad de hinchamiento disminuyó con respecto a la harina de camote crudo.

Estos resultados permiten conocer el comportamiento de las propiedades de la harina de camote de cerro, sin embargo, es necesario realizar más estudios de caracterización de la harina para determinar su posible aplicación como aditivo alimentario en la elaboración de otros productos como purés, bebidas, botanas o productos de panificación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abiodun, O. A., Akinoso, R., & Oluoti, O. J. (2014). Changes in Functional and Pasting Properties of Trifoliolate Yam Flour during Storage. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 18(2), 337–340. <https://doi.org/10.4314/jasem.v18i2.26>
- AOAC International. (2002). *Official Methods of Analysis* (17th ed.). AOAC International.
- Asranudin, Holilah, Syarifin, A. N. K., Purnomo, A. S., Ansharullah, & Fudholi, A. (2021). The effect of heat moisture treatment on crystallinity and physicochemical-digestibility properties of purple yam flour. *Food Hydrocolloids*, 120, 106889. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106889>
- Awuchi, C. G., Igwe, V. S., & Echeta, C. K. (2019). The functional properties of foods and flours. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11), 139–160.
- Badui Dergal, S. D. (2006). *Química de los alimentos* (4th ed.). Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Castagnino, A. M., & Marina, J. A. (2022). Panorama de la cadena agroalimentaria del ñame (*Dioscorea spp.*): Importancia, características, cultivo, mercado, usos y valor medicinal. *Horticultura Argentina*, 41(106). <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/86zx16p4g>
- Chaparro A., S. P., Gil G., J. H., & Aristizabal T., I. D. (2011). Effect of hydration and baking on the physical and functional properties of vitabosa flour (*Mucuna deeringiana*). *Vitae*, 18(2), 133–143. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.10066>
- Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., & Alimi, B. A. (2019). Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 2799–2813. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03814-6>
- Dirección General de Normas. (1978). *Determinación del pH en alimentos - Método electrométrico*.
- Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro. *Información Tecnológica*, 30(5), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003>
- Guízar-Miranda, A., Montañéz-Soto, J. L., & García- Ruiz, I. (2008). Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (*Dioscorea spp.*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9(1), 81–88.
- Hoover, R. (2010). The Impact of Heat-Moisture Treatment on Molecular Structures and Properties of Starches Isolated from Different Botanical Sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(9), 835–847. <https://doi.org/10.1080/10408390903001735>
- Isengard, H.-D. (2001). Water content, one of the most important properties of food. *Food Control*, 12(7), 395–400. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(01\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(01)00043-3)
- Jideani, V. A. (2011). Functional Properties of Soybean Food Ingredients in Food Systems. In T.-B. Ng (Ed.), *Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology* (pp. 345–366). InTech. <https://doi.org/10.5772/14668>
- Karunarathna, S., Wickramasinghe, I., Brennan, C., Truong, T., Navaratne, S., & Chandrapala, J. (2024). Investigating the impact of boiling and pressure cooking on resistant starch levels in food. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(6), 3907–3917. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17138>
- Krishnapriya, T. V., & Suganthi, A. (2017). Biochemical and phytochemical analysis of *Colocasia esculenta* (L.) Schott tubers. *International Journal of Research in Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(3), 21–25.
- Lopez-Silva, M., Agama-Acevedo, E., Yee-Madeira, H., Bello-Perez, L. A., & Alvarez-Ramirez, J. (2022). Effect of gelatinization degree on emulsification capacity of corn starch esterified with octenyl succinic acid. *Food Chemistry*, 375, 131657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131657>
- Marta, H., Febiola, C., Cahyana, Y., Arifin, H. R., Fetriyuna, F., & Sondari, D. (2023). Application of Composite Flour from Indonesian Local Tubers in Gluten-Free Pancakes. *Foods*, 12(9), 1892. <https://doi.org/10.3390/foods12091892>
- Núñez-Santiago, M. C., Bello-Pérez, L. A., & Tecante, A. (2004). Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 56(1), 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.12.003>
- Ozyurt, V. ye H., & Ötles, S. (2016). Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 15(3), 233–245. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2016.3.23>

- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A.-J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Rodríguez, E., Fernández, A., Alonso, L., & Ospina, B. (2006). Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería y Desarrollo*, 19, 17–30.
- Secretaría de Salud. (1996). *NOM-147-SSA1-1996: Bienes y servicios. Cereales y sus productos*.
- Shan, N., Wang, P., Zhu, Q., Sun, J., Zhang, H., Liu, X., Cao, T., Chen, X., Huang, Y., & Zhou, Q. (2020). Comprehensive characterization of yam tuber nutrition and medicinal quality of *Dioscorea opposita* and *D. alata* from different geographic groups in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(11), 2839–2848. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63270-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63270-1)
- Sun, X., Jin, X., Fu, N., & Chen, X. (2020). Effects of different pretreatment methods on the drying characteristics and quality of potatoes. *Food Science & Nutrition*, 8(11), 5767–5775. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1579>
- Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A., & Sosa, F. (2014). Caracterización físicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39(3), 191–197. <https://www.proquest.com/docview/1517930100?sourcetype=Scholarly Journals>
- Wheat Marketing Centre. (2008). *Wheat and Flour Testing Methods: A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality (Version 2)*.
- Yang, T., Wang, P., Zhou, Q., Wang, X., Cai, J., Huang, M., & Jiang, D. (2021). Investigation on the Molecular and Physicochemical Changes of Protein and Starch of Wheat Flour during Heating. *Foods*, 10(6), 1419. <https://doi.org/10.3390/foods10061419>
- Yekta, R., Assadpour, E., Hosseini, H., & Jafari, S. M. (2023). The influence of ionic polysaccharides on the physicochemical and techno-functional properties of soy proteins; a comprehensive review. *Carbohydrate Polymers*, 319, 121191. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121191>

**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA CALIDAD E INOCUIDAD DEL CHORIZO
ARTESANAL NORTEÑO (MEXICANO): UN ENFOQUE FISICOQUÍMICO,
MICROBIOLÓGICO Y NUTRICIONAL
COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE QUALITY AND SAFETY OF
NORTHERN (MEXICAN) ARTISAN CHORIZO: A PHYSICOCHEMICAL,
MICROBIOLOGICAL AND NUTRITIONAL APPROACH**

Torres-Alvarez C.², Pastrana Vázquez M.I.¹, García-Alanís K.G.¹, Bautista-Villarreal M.¹, Amaya-Guerra C.A.¹, Castillo S.^{1*}

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Alimentos, Av. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza NL C.P. 66455, México;

² Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Francisco Villa s/n, Ex-Hacienda "El Canadá", General Escobedo NL C.P. 66050, México

* sandra.castillohm@uanl.edu.mx

RESUMEN

En México, uno de los alimentos más populares es el chorizo, producto elaborado con carne de cerdo, especias y otros ingredientes. En la actualidad, el consumidor es consciente del consumo saludable de sus alimentos, buscando también la nutrición, la calidad y la inocuidad. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad sanitaria de chorizo artesanal empacado al vacío como indicativo de cultura de inocuidad en el proceso de elaboración y determinar sus atributos fisicoquímicos como el pH, A_w , parámetros cromáticos y nutricionales, además la evolución de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos en el tiempo de almacenamiento. Los resultados microbiológicos mostraron el cumplimiento en los límites permisibles a la normativa oficial mexicana, sin embargo, se detectó una alta población de mesófilos aerobios. El pH se encontró dentro de los parámetros permisibles (5.3), el A_w se encontró alto (0.986) en comparación con otros productos del tipo, evidenciándose cambios significativos ($p > 0.05$) en los atributos fisicoquímicos respecto al tiempo. Se presentó una disminución de población en el tiempo para coliformes totales y mesofílicos aerobios; mientras que para las bacterias ácido lácticas (BAL), hongos y levaduras mostraron aumento en crecimiento, así como la ausencia de *Salmonella* spp. El chorizo artesanal analizado destaca por su composición nutricional siendo mayor en proteína (13.81%) y menor en grasa (3.73%) y carbohidratos (6.67%) en comparación con chorizos comerciales, lo que lo convierte en una alternativa más saludable.

PALABRAS CLAVE: calidad sanitaria, inocuidad, chorizo, artesanal, atributos fisicoquímicos

ABSTRACT

In Mexico, one of the most popular foods is chorizo, a product made with pork, spices and other ingredients. Currently, consumers are aware of the healthy consumption of their food, also seeking nutrition, quality and safety. The objective of this research was to evaluate the sanitary quality of vacuum-packed artisanal chorizo as an indication of a culture of safety in the production process and to determine its physicochemical attributes such as pH, A_w , chromatic and nutritional parameters, as well as the evolution of microbiological and physicochemical parameters during storage time. The microbiological results showed compliance with the permissible limits according to official Mexican regulations, however, a high population of aerobic mesophiles was detected. The pH was found within the permissible parameters (5.3), the A_w was high (0.986) compared to other products of the type, showing significant changes ($p > 0.05$) in the physicochemical attributes with respect to time. There was a population decrease over time for total coliforms and aerobic mesophilic coliforms; while for lactic acid bacteria (LAB), fungi and yeasts showed an increase in growth, in addition to absence for *Salmonella* spp. The nutritional composition of the chorizo was higher in protein (13.7%) and lower in fat (3.7%) and carbohydrates (6.6%) compared to commercial chorizos, so it presents nutritional advantages

KEYWORDS: artisanal, chorizo, food safety, microbiological quality, physicochemical attributes.

INTRODUCCIÓN

El chorizo es uno de los embutidos más populares en toda Latinoamérica, particularmente en México; además es ampliamente consumido en la dieta mexicana. Este producto es comúnmente elaborado con carne y grasa de cerdo además de la adición de diversas especias y chiles, siendo comercializado crudo (Becerril-Sánchez *et al.*, 2019). La receta y el proceso de elaboración puede variar dependiendo de la zona geográfica de México. La NOM-213-SSA1-2018 “productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba” categoriza como "productos cárnicos crudos no listos para el consumo humano”, para aquellos alimentos procesados que requieren un tratamiento térmico previo a su consumo, siendo el chorizo uno de ellos. En el 2023, tan sólo en México, el volumen anual de producción de carnes frías fue de: salchicha (50%), jamones (39%) y otros (11%), en este último grupo se incluyen el chorizo y la longaniza (su diferencia radica en la elaboración de la carne) (31%), el tocino (30%), chuleta ahumada (18%), mortadela (13%) y queso de puerco (8%) (Comecarne, 2023). De acuerdo con el Consejo Mexicano de la Carne (2022), los principales lugares de adquisición de productos cárnicos, particularmente carnes frías son: abarrotes (38%), supermercados (25%), charcuterías (23%), mercado (12%), minisúper (1%) y otros (2%), en el indicador de la compra de carnes frías el chorizo y la longaniza se posicionan en el 3er. lugar de producto que más se adquiere. El sitio de venta corresponde al tipo de productor: industrias que poseen marcas registradas de venta en supermercados, medianas empresas de venta regional en centrales de abasto, y pequeños productores con venta en ámbito rural y familiar, estos últimos elaboran los chorizos siguiendo procesos transmitidos por generaciones, que prácticamente evitan el uso de aditivos e ingredientes no cárnicos diferentes a la sal, especias y/o condimentos (Díaz-Ramírez *et al.*, 2018; González-Tenorio *et al.*, 2012); estos productos se categorizan como "alimentos artesanales", aunque no hay una definición clara, algunos autores lo consideran como "aquellos productos elaborados a mano" o "productos elaborados con conocimientos y métodos tradicionales", que se distinguen por una producción en pequeña escala, uso de insumos locales, excluyen aditivos y conservadores en su elaboración (Díaz-Ramírez *et al.*, 2018). Particularmente, los productos alimenticios artesanales en ocasiones no se elaboran siguiendo la regulación higiénica (debido al desconocimiento o pocos recursos de los productores artesanos, impactando en la calidad del producto; por ejemplo, el abuso de temperatura por no contar con la cadena de frío adecuada para su distribución y venta; además, que son escasos los estudios de las características fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas de este tipo de productos. Actualmente el consumidor es más consciente de lo que consume y busca alternativas de productos que han sido desarrollados artesanalmente, procurando un producto más sano mediante etiqueta "limpia", sin embargo esto no excluye a las exigencias en su calidad e inocuidad que han aumentado a través de los años y que aún con ello, se han presentado hechos lamentables recientes en la república mexicana (Tlaxcala, Sinaloa, Sonora) donde se presentaron brotes de Guillain Barré y en el norte del país diversas intoxicaciones reportando dos muertes de infantes derivadas del consumo de alimentos, atribuyendo estos hechos, al cambio climático (aumento en la temperatura ambiental hasta 44 °C) y al desconocimiento del manejo del producto en estas condiciones. Debido a esto, la evaluación de los atributos de calidad e higiene durante la elaboración de productos artesanales, cobra especial relevancia para evitar hechos como los anteriormente mencionados haciendo de conocimiento público los peligros asociados a la manufactura de alimentos, el impacto del tipo de empaque y la importancia de la higiene en la preparación de estos para evitar enfermedades transmitidas por alimentos (ETA). Derivado de los resultados presentados en este estudio, se establecen estrategias de calidad para el cumplimiento de buenas prácticas de manufactura (BPM) durante el desarrollo del producto artesanal, además de su ideal conservación para evitar la proliferación microbiana y los potenciales peligros asociados al tipo de empaque propuesto. Estas recomendaciones le permitirán al productor artesano, conocer los peligros asociados al producto, aplicar BPM en la cadena de elaboración para mejorar la calidad del producto final alargando su vida útil. Este conocimiento contribuirá al desarrollo de la cultura de inocuidad de los productores artesanales mexicanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del producto y su evaluación inicial

El chorizo de puerco artesanal analizado en este estudio es un alimento cárnico crudo de cerdo con chiles y especias, empacado al vacío sin adición de conservantes, almacenado a temperatura de refrigeración; se desconoce su calidad sanitaria, así como sus parámetros fisicoquímicos intrínsecos (pH, A_w y color) por lo que la evaluación de la calidad sanitaria y sus características fisicoquímicas son esenciales para establecer sus peligros potenciales. Al conocer estos elementos, se establecerían condiciones adecuadas del manejo del producto como la cadena de frío y su impacto en la vida de útil del mismo en el empaque propuesto. Por otra parte, se desconoce su contenido nutricional, lo cual es de suma importancia para dar el primer paso hacia el cumplimiento de la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM 051 SCFI SSA1 2010 que especifica la reglamentación del etiquetado de alimentos en México. Adicionalmente se comparó el contenido nutricional del chorizo artesanal con marcas comerciales.

Elaboración del chorizo artesanal

El chorizo fue elaborado artesanalmente con carne de cerdo magra y otros ingredientes de proveedores locales de Monterrey, Nuevo León. Se empacó al vacío en porciones de 50 g y fueron donadas por el productor al Laboratorio de Alimentos Funcionales del Departamento de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), almacenándose a 3.5 ± 0.5 °C. Las muestras fueron monitoreadas durante 28 días. Se realizaron análisis fisicoquímicos (A_w , pH, color) y microbiológicos los días 0, 3, 7, 9, 14, 16, 21, 23 y 28.

Análisis fisicoquímicos

Se realizaron análisis de pH, actividad de agua (A_w) y color para cada muestra de chorizo en los intervalos señalados anteriormente. Para pH, se pesaron 10 g de muestra y se diluyó con 100 mL de agua destilada, tomando la lectura en un potenciómetro (HANNA mod. HI98128). Para la medición de A_w , 5 g de muestra se introdujeron en un equipo AquaLab 4TE (Meter Group) tomando la medición de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Finalmente, el color fue determinado en 5 g de muestra con el equipo HunterLab Colorimeter (mod. ColorFlex EZ). Se realizó la medición de L^* (luminosidad), a^* (coordenadas rojo-verde), b^* (coordenadas amarillo-azul) de acuerdo con las instrucciones del fabricante (Blumenthal-Rodríguez et al., 2025)

Análisis microbiológicos

Se realizaron análisis de microorganismos indicadores y se monitorearon a través del tiempo, para evaluar su comportamiento en el producto final; además se determinó la presencia de *Salmonella* spp. sólo al día cero, considerando que éste patógeno debe estar ausente. Los microorganismos indicadores analizados fueron mesófilos aerobios, coliformes totales, bacterias ácido lácticas (BAL), hongos y levaduras, bajo las Normas Oficiales Mexicanas que corresponden (Tabla 1). La determinación inició con la preparación de la muestra bajo la NOM-110-SSA-1994, se tomaron 25 g de muestra y 225 mL de agua peptonada bufferada para su dilución, se homogenizó en un stomacher durante 60 s; posteriormente se realizaron diluciones decimales adicionales (10^{-2} a 10^{-4}). Para mesofílicos aerobios y BAL, se tomó 1mL de cada dilución decimal y se inoculó en placas Petri, en seguida se vertió el agar de recuento estándar (DIFCO) para mesófilos aerobios o agar MRS (de Man Rogosa & Sharpe, DIFCO) para BAL, incubándose a 35 ± 1 °C durante 24-48 h según corresponda. Para el análisis de coliformes totales se tomó 1mL de cada dilución decimal, se colocó en las cajas de Petri y se vertió el medio de cultivo Agar Bilis Rojo Violeta (RUBVA, DIFCO), incubándose a 35 ± 1 °C por 24 h. Finalmente para el análisis de hongos y levaduras, se realizó el mismo procedimiento, pero se vertió medio de cultivo de agar papa dextrosa (PDA, DIFCO) acidificado (ácido tartárico al 10 % SIGMA-ALDRICH), incubándose a 25 °C durante 5 días. Para el caso de *Salmonella* spp. se aplicó la metodología de la NOM correspondiente (Tabla 1). La expresión de resultados se

reportó en LOG_{10} UFC/g para posteriormente realizar un modelado mediante el software Microrisk Lab V 1.2 con modelos de competencia de Jameson para la obtención de gráficos de interacción microbiana en el tiempo.

Tabla 1. Normativas oficiales mexicanas utilizadas para el análisis microbiológico del chorizo artesanal empacado al vacío.

Análisis	NOM aplicable
Mesofílicos aerobios y BAL	NOM-092-SSA1-1994. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa
Coliformes totales en placa	NOM-113-SSA1-1994. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.
Mohos y levaduras	NOM-111-SSA1-1994. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos
<i>Salmonella</i> spp.	NOM-210-NOM-210-SSA1-2014. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.

Composición química

La composición química del chorizo artesanal se realizó mediante los métodos estándar de la Asociación Oficial de Química Analítica (AOAC, 2006). El contenido de cenizas se evaluó gravimétricamente (AOAC 14.006). El nitrógeno se determinó mediante el método Kjeldahl (AOAC 930.29). La grasa se determinó por el método Soxhlet (AOAC 920.39), la fibra dietética total (AOAC 985.29); y el extracto libre de nitrógeno (carbohidratos disponibles) se midieron por la diferencia de valores al 100%. Una vez obtenidos los valores nutrimentales, se compararon con marcas comerciales.

Análisis estadístico

Las mediciones se realizaron por triplicado y se realizó ANOVA con un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0.05$) utilizando el software SPSS Versión 20 (IBM, SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Para determinar la diferencia estadísticamente significativa entre los valores, se realizó un análisis de varianza de una vía y una prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de los atributos fisicoquímicos y microbiológicos de chorizo artesanal empacado al vacío se monitoreó durante 28 días, almacenado a temperatura de refrigeración (3.5 ± 0.5 °C); además, la evaluación en su composición química el día 0.

Atributos Fisicoquímicos

Durante la medición de los parámetros fisicoquímicos, se observó una disminución del pH a través del tiempo (Tabla 2). El chorizo tuvo un pH inicial de 5.3 ± 0.1 , que fue disminuyendo, presentándose cambios significativos desde el día 14 y hasta el 28, en donde el valor de pH final fue de 4.7 ± 0.1 . En el caso del A_w presentó ligeras variaciones con cambios significativos entre el día 0 y 28 con valores entre 0.981 - 0.992. El color presentó variaciones mínimas a través del tiempo, presentando una coloración ligeramente más clara al final del almacenamiento (Tabla 2). Los parámetros cromáticos con más variaciones significativas fueron L^* y a^* , mientras que el b^* se mantuvo más estable.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y cromáticos del chorizo respecto al tiempo.

Día	Parámetro					Aspecto
	pH	A _w	Cromáticos			
			L*	a*	b*	
0	5.3±0.1 ^{ab}	0.986±0.002 ^b	22.38± 0.01 ⁱ	20.00±0.01 ^b	29.14±0.01 ^{ab}	
3	5.4±0.2 ^a	0.985±0.000 ^{bc}	22.77±0.01 ^h	19.47±0.02 ^e	28.12±0.01 ^{ab}	
7	5.2±0.1 ^{ab}	0.987±0.000 ^b	24.49±0.01 ^g	17.94±0.01 ⁱ	26.59±0.03 ^{bc}	
9	5.2±0.1 ^{ab}	0.986±0.000 ^b	23.37±0.03 ^f	18.82±0.01 ^h	26.17± 0.01 ^c	
14	5.1±0.1 ^b	0.981±0.003 ^c	24.64±0.02 ^e	19.57±0.00 ^d	29.35±0.02 ^a	
16	5.0±0.1 ^b	0.988±0.000 ^b	24.89±0.01 ^d	19.62±0.01 ^c	29.57±0.10 ^a	
21	4.8±0.1 ^{bc}	0.987±0.000 ^b	26.32±0.02 ^c	18.91±0.01 ^g	27.69±0.05 ^{ab}	
23	4.8±0.1 ^{bc}	0.989±0.000 ^{ab}	26.95±0.02 ^b	19.23±0.01 ^f	28.68±0.10 ^{ab}	
28	4.7±0.1 ^c	0.992±0.001 ^a	28.12±0.02 ^a	20.11±0.01 ^a	28.10±0.05 ^{ab}	

^{a-i} Diferentes letras en columna son significativamente diferentes.

En la elaboración artesanal de algún producto alimenticio, es importante conocer los atributos del producto final para conocer los peligros asociados a éste y tomarlo en cuenta para la presentación final del producto. De acuerdo con los valores de pH, los chorizos pueden clasificarse como embutidos de baja acidificación por presentar valores mayores a 4.6; en embutidos el pH es relevante debido a que valores mayores a 6.0 pueden favorecer el desarrollo de bacterias, mientras que pH inferiores a 4.5, pueden producir sabores ácidos y desagradables (Cobos-Velasco *et al.*, 2014). El chorizo artesanal presentó un valor de pH inicial de 5.3 (Tabla 2); según los reportes de FDA (2011), este valor está en el límite para evitar el crecimiento de algunos microorganismos esporulados como *Clostridium perfringens* y el tipo no proteolítico de *C. botulinum*; sin embargo, otros patógenos pueden proliferar desde pH 4.6 (Tabla 3). El A_w inicial del chorizo fue de 0.986 y aunque se presentaron cambios significativos en el A_w a través del tiempo (Tabla 2), este cambio no representa una diferencia discriminativa para el tipo de microorganismos que pudiesen desarrollarse en estos rangos, ya que desde valores de 0.92, se puede presentar *Listeria monocytogenes*, y en rangos mayores a este valor, pueden proliferar patógenos como *Salmonella* spp., *Clostridium perfringens*, *E. coli* (patógenas), entre otros (Services H, 2001). Los valores de A_w del chorizo analizado, estuvieron muy por encima de 0.92 con valores cercanos a 0.98, por lo que cualquier microorganismo mencionado podría proliferar si la cadena de frío (0 a 4 °C) o el pH no se mantuvieran controlados. De acuerdo con Cobos-Velasco *et al.* (2014), los embutidos que presenten un A_w con valores de humedad intermedia (0.90) o un pH igual o menor a 5.3 pueden ser estables a temperatura ambiente, teniendo en cuenta que, por considerarse de baja acidez, el A_w es decisivo para el control microbiano, por lo que el producto aquí analizado, no se consideraría estable y es recomendable considerar estrategias para disminuir el A_w. Becerril-Sánchez *et al.* (2019), investigaron la calidad sanitaria de chorizo rojo tradicional comercializado en la ciudad de Toluca, Estado de México, encontrando rangos de pH entre 4.47 y 4.78 y A_w de 0.959 a 0.970; estos valores de pH son más ácidos que el producto analizado, esto podría atribuirse al tipo de proceso (del chorizo rojo tradicional) de fermentación espontánea y oreo con el consecuente crecimiento de bacterias ácido lácticas y la generación de ácidos orgánicos, además de la naturaleza ácida de la formulación del

producto por sus ingredientes como vinagre, mezcla de chiles etc. (Becerril-Sánchez *et al.*, 2019). Considerando que la presentación final del chorizo analizado (al vacío), es anaeróbica y podría propiciar el crecimiento de *C. botulinum*, se recomienda alguna estrategia para mantener controlado este patógeno. Se han reportado estrategias de conservación para éste, mediante valores de A_w bajos (menores a 0.9), pH menores a 4.6 o congelación. Por tratarse de un alimento crudo, no listo para consumo y artesanal, se sugiere la congelación como una buena opción o en su defecto la acidificación del producto a pH 4.6 (Tabla 3), tratando de conservar el sabor y textura original del producto artesanal. El producto recibirá un tratamiento de cocción por el consumidor para poder ser ingerido; este tratamiento inactivaría patógenos y/o algunas toxinas presentes. A pesar de que la toxina botulínica es termolábil (≥ 85 °C/15 min), un simple caso de botulismo se considera de alta letalidad, por lo que se debe de erradicar cualquier posibilidad (Heredia *et al.*, 2008).

Tabla 3. Condiciones limitantes de los principales patógenos asociados a productos cárnicos.

Patógeno	A_w mínima	pH min/máx.	Temperatura °C min/máx.	Requerimiento de oxígeno
<i>Bacillus cereus</i>	0.92	4.3/9.3	4/55	AF
<i>Campylobacter jejuni</i>	0.987	4.9/9.5	30/45	MA
<i>Clostridium botulinum</i> (tipo A y proteolítico tipo B y F)	0.935	4.6/9.0	10/48	AN
<i>Clostridium botulinum</i> (tipo E y no-proteolítico tipo B y F)	0.97	5.0/9.0	3.3/45	AN
<i>Clostridium perfringens</i>	0.93	5.0/9.0	10/52	AN
Cepas patógenas de <i>Escherichia coli</i>	0.95	4.0/10.0	6.5/49.4	AF
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.92	4.4/9.4	-0.4/45	AF
<i>Salmonella</i> spp.	0.94	3.7/9.5	5.2/46.2	AF
<i>Staphylococcus aureus</i> (proliferación)	0.83	4.0/10.0	7/50	AF
<i>Staphylococcus aureus</i> (producción de toxina)	0.85	4.0/9.8	10/48	AF
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0.945	4.2/10	-1.3/42	AF

FDA. Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance; AF (anaerobio facultativo), AN (anaerobio estricto), MA (microaerófilico).

Calidad Sanitaria

La calidad sanitaria fue evaluada mediante la determinación de microorganismos indicadores y deteriorantes: coliformes totales, mesófilos aerobios, bacterias ácido lácticas (BAL), mohos y levaduras y *Salmonella* spp. Al realizar los análisis al día cero, se encontró que la cantidad de inicial mesofílicos aerobios fue de 1×10^6 UFC/g (Tabla 4). La Norma aplicable no menciona un límite máximo para estos microorganismos en este tipo de producto, se conoce que cuentas muy altas ($\geq 1 \times 10^6$) pueden deteriorar rápidamente la vida útil del producto, además de

indicar malas prácticas en el proceso de elaboración (Gerber C., 2015). A pesar de encontrarse altas cantidades de bacterias mesófilas, la cantidad de coliformes totales se mantuvo debajo de $2.24 \pm 0.34 \text{ LOG}_{10} \text{ UFC/g}$ desde el primer día y durante el transcurso del tiempo de almacenamiento (Tabla 4). Aunque los límites permisibles en la NOM para cárnicos, están especificados para *E. coli* (Tabla 4), al no encontrarse una cantidad mayor a 5000 UFC/g ($3.69 \text{ LOG}_{10} \text{ UFC/g}$) de coliformes totales en nuestro estudio, se asume que la cantidad de *E. coli*, no rebasa los límites permisibles. Para el caso de la determinación de *Salmonella* spp. se encontró conformidad con la norma al estar ausentes en 25 g de muestra al día cero (Tabla 4).

Tabla 4. Especificaciones sanitarias para productos cárnicos curados crudos, no listos para consumo (NOM-213-SSA1-2018).

Microorganismo	Límite máximo	Resultados chorizo artesanal
Mesofílicos aerobios	-----	$1 \times 10^6 \text{ UFC/g}$
BAL	-----	$1 \times 10^3 \text{ UFC/g}$
<i>E. coli/coliformes</i>	$5 \times 10^3 \text{ UFC/g}$	$2 \times 10^2 \text{ UFC/g}$
<i>Salmonella</i> spp	Ausente en 25 g	Ausente en 25 g

Se realizó un monitoreo en el tiempo de microorganismos deteriorantes (BAL, mohos y levaduras) e indicadores (mesófilos aerobios y coliformes totales) para establecer su comportamiento en un ambiente al vacío y su relación con los atributos de pH y A_w determinados. Las BAL y mohos y levaduras, mostraron un aumento significativo de la población en el tiempo (3.15 y $3.95 \text{ LOG}_{10} \text{ UFC/g}$, respectivamente) mientras que los coliformes totales y los mesofílicos aerobios presentaron un decremento de 2.24 y $1.76 \text{ LOG}_{10} \text{ UFC/g}$ respectivamente (Tabla 5). Para observar la variación del valor de pH y su influencia sobre el crecimiento microbiano en el tiempo, se obtuvieron gráficos mediante el software Microrisk Lab V1.2 con modelos de competencia de Jameson.

Tabla 5. Evaluación microbiológica del chorizo respecto al tiempo en una temperatura de almacenamiento de $4 \text{ }^\circ\text{C}$

Día	$\text{LOG}_{10} \text{ UFC/g}$			
	Coliformes totales	Mesofílicos aerobios	Bacterias ácido lácticas	Hongos y Levaduras
0	2.24 ± 0.34^a	6.00 ± 0.01^a	3.02 ± 0.03^c	ND
3	1.41 ± 1.00^a	4.35 ± 0.01^b	3.56 ± 0.26^d	ND
7	1.75 ± 1.24^a	3.87 ± 0.38^b	4.15 ± 0.05^c	3.06 ± 0.03^b
9	ND	3.52 ± 0.74^b	4.62 ± 0.03^c	2.65 ± 0.21^c
14	ND	3.84 ± 0.09^b	5.70 ± 0.10^b	3.90 ± 0.02^a
16	ND	4.24 ± 0.34^b	6.15 ± 0.09^{ab}	3.95 ± 0.21^a
21	ND	4.54 ± 0.34^b	6.64 ± 0.16^a	3.94 ± 0.08^a
23	ND	3.72 ± 0.17^b	6.51 ± 0.14^a	3.95 ± 0.07^a
28	ND	3.23 ± 0.39^b	6.27 ± 0.08^a	3.97 ± 0.05^a

^{a-c} Diferentes letras en columna son significativamente diferentes. ND: No detectado.

En la Fig. 1 se muestra la interacción de la población de BAL con el pH durante el tiempo de almacenamiento, mientras que la Fig. 2 nos presenta las interacciones de crecimiento entre las poblaciones microbianas. Como se puede observar en la Fig. 1, a medida que aumenta la población de BAL el pH del sistema disminuye. Por otra parte,

las interacciones de la flora acompañante muestran que a medida que aumentan las BAL, los coliformes totales y mesófilos aerobios disminuyen, mientras que los mohos y levaduras aumentan (Fig. 2).

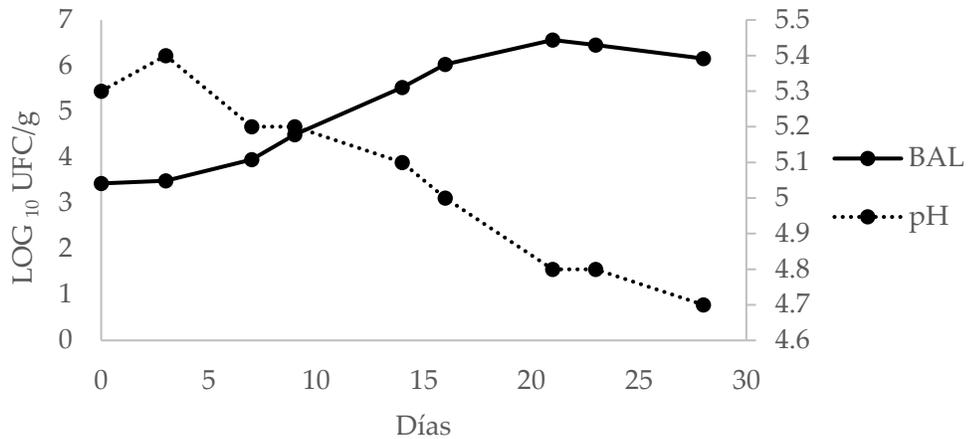


Figura 1. Evolución del pH y la población de BAL (LOG₁₀ UFC/g) en el tiempo. Nótese la disminución de pH y el aumento de la población de BAL, con un aumento total de 3 UFC-Log al final del crecimiento.

El comportamiento de los microorganismos indicadores (mesofílicos, BAL, mohos y levaduras) en el tiempo, es sumamente importante debido a que pueden causar un deterioro, tanto en sus propiedades organolépticas, así como en algunos parámetros fisicoquímicos como el color y el pH. El grupo mesofílico está conformado por aquellos microorganismos capaces de desarrollarse de manera aerobia entre 20 y 45 °C. Esta determinación refleja la calidad sanitaria, indicando las condiciones de higiene de la materia prima; así mismo pueden indicar una mala o buena manipulación durante la elaboración del alimento. La presencia elevada de mesófilos, pudiera indicar también la posibilidad de la presencia de patógenos, sin embargo, no significa con seguridad que estén presentes (Trinks, F. 2014). Este hecho fue corroborado con la ausencia de *Salmonella* spp., a pesar de haber encontrado una cantidad alta de mesofílicos, este patógeno estuvo ausente. La cantidad alta de mesofílicos aerobios, indica un mal manejo de la materia prima, o deficiencias durante la preparación y proceso del alimento; sin embargo, al encontrarse una baja cantidad de coliformes totales/fecales, se evidencia que esta contaminación no es de origen fecal o por ausencia de lavado de manos. Adicionalmente, se recomienda una revisión de proveedores de las especias adicionadas al producto, ya que dentro del grupo mesofílico se encuentran los microorganismos esporulados y, por lo tanto, la presencia de esporas en las especias adicionadas, podrían ocasionar un incumplimiento en el límite permisible. Es importante tener en cuenta que, a pesar de no encontrarse patógenos en el producto, es un riesgo latente, debido a la gran cantidad de bacterias mesófilas presentes y al desconocimiento del origen de esta contaminación. Por otra parte, al tratarse de un alimento ácido en este caso, la presencia de BAL es importante; el aumento puede alterar las propiedades organolépticas y/o fisicoquímicas del producto como el pH, y alterar la vida de anaquel debido a que, durante la producción de ácidos orgánicos, se genera también el ambiente apropiado para el desarrollo de mohos y levaduras, por lo que su control y monitoreo resulta importante (Mwove *et al.*, 2017).

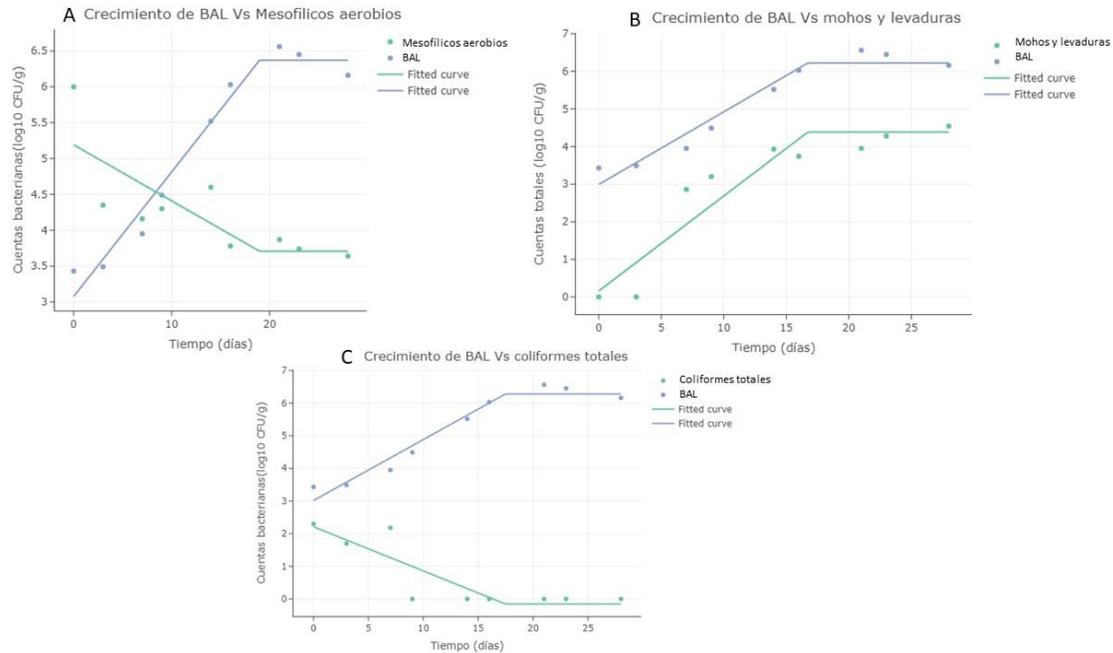


Figura 2. Interacciones de la flora acompañante durante el aumento de BAL. Los mesófilos y coliformes totales disminuyen al aumentar la población de BAL (A, C), mientras que los mohos y levaduras aumentan (B). Los gráficos fueron modelados con Microrisk Lab V 1.2 mediante los modelos de competencia de Jameson- No lag Buchanan model.

En la Tabla 5, se reporta la evolución de los microorganismos en el producto a través de su almacenamiento a 4 °C y en la Fig. 2, la interacción de las poblaciones bacterianas en el tiempo. Resulta importante observar la disminución de mesófilos aerobios y coliformes totales durante el aumento de BAL; así mismo, el aumento de mohos y levaduras al aumentar la población de BAL. Esto podría deberse a la producción de ácidos orgánicos por parte de BAL, y por lo tanto la disminución de pH que permite que aquellos microorganismos acidófilos aumenten, mientras que los mesófilos y coliformes, disminuyan. La interacción y dependencia de todos estos factores nos proporcionan datos importantes para mejorar tanto las prácticas de manufactura como la formulación y controlar el crecimiento microbiano. Es importante recalcar que el objetivo de este estudio es establecer tanto los peligros asociados al producto como las interacciones microbianas en el producto empacado al vacío, y de esta forma, tomar acciones mediante estrategias que nos permitan mantener el producto con “etiqueta limpia” y evitar la adición de cualquier químico que pudiera afectar el estilo casero y artesanal del producto.

Composición química del chorizo artesanal

El análisis de composición química del chorizo artesanal se realizó para evaluar la calidad nutrimental que presenta y compararlo con productos comerciales. La Tabla 6, muestra los resultados obtenidos para el contenido de fibra, proteína, grasa y carbohidratos.

Tabla 6. Composición química del chorizo artesanal y comercial por 100g

	Porcentaje (%)					
	Humedad	Ceniza	Proteína	Grasa	Fibra	Carbohidratos
Chorizo artesanal	71.49±0.03	2.62±0.03	13.81±0.27	3.73±0.96	1.68±0.20	6.67±0.52
Chorizo comercial	-----	-----	10.20±0.50	35.80±0.95	3.30±0.20	9.00±0.52
INCMNSZ*	32.8**	3.50	13.30	41.20	----	9.10

* INCMNSZ: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

**Valores reportados en las tablas de composición de alimentos de INCMNSZ.

Finalmente, en la composición química, el chorizo artesanal evaluado presento valores de 13.81 %, 3.73 % y 6.67 % de proteína, grasa y carbohidratos respectivamente, en comparación de un chorizo de marca comercial, se obtuvo valores de 10.20 %, 35.80 % y 9.00 % de proteína, grasa y carbohidratos respectivamente; observando que el chorizo artesanal se obtuvo una mayor cantidad de proteína y menor cantidad de grasa y carbohidratos. De acuerdo a tablas de composición nutrimentales del INCMNSZ, el chorizo picante por cada 100 g, contiene aproximadamente 13.30 g de proteína, 41.20 g de grasa y 9.10 g de carbohidratos; en el producto artesanal analizado los valores de proteína y carbohidratos son similares, sin embargo, para la grasa hay gran diferencia en los valores obtenidos, esto podría estar relacionado con la formulación del producto. Pérez-Martínez *et al.*, (2020), realizaron una investigación de evaluación de la calidad de 10 marcas de chorizo, analizaron etiquetas nutrimentales e ingredientes del Estado de Hidalgo, encontrando que, por cada 100 g de producto, la cantidad de proteína fue de 11 a 24.10 g, de grasa de 9.6 a 41 g y de carbohidratos de 0.55 a 9 g, siendo que la variabilidad de la formulación del producto (especie de la carne, ingredientes y aditivos) se refleja en la información nutrimental. El chorizo artesanal analizado, contiene una cantidad de proteína alta (13.81%), esta característica permite contar con mejores propiedades funcionales como es el ligado de las grasas; de igual manera, la proporción de hidratos de carbono es baja, debido que provienen de los tejidos corporales del tipo de carne que se utiliza (Pérez-Martínez *et al.*, 2020); finalmente la cantidad de los grasa fue menor en el chorizo artesanal analizado (3.73g) en comparación de los productos comerciales (9.6 a 41 g) (Pérez-Martínez *et al.*, 2020). Uno de los nutrientes importantes en la calidad de chorizo es la grasa, debido a que puede aportar propiedades que afecten directamente el valor nutritivo, sabor, textura y la estabilidad oxidativa del producto (González-Tenorio *et al.*, 2013). Desde hace algunos años, la OPS ha referenciado que el consumo excesivo de “nutrientes críticos” (azúcares, grasas totales, saturadas y trans, y sodio) se considera un problema de salud pública, debido a una correlación con enfermedades crónicas como diabetes, sobrepeso u obesidad, hipertensión, enfermedades cardíacas, vasculares, renales y cerebrales. En la formulación del chorizo, al utilizar carne de cerdo puede contener cantidades de grasa saturada que está relacionadas con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y enfermedades no transmisibles por lo que el consumo de estos alimentos sea moderado (Pérez-Martínez *et al.*, 2020). Actualmente, los consumidores tienen más conciencia de los alimentos que seleccionan, debido a esto, la industria cárnica busca fuentes alternas de bajo costo para ofrecer productos alimenticios altamente proteicos, con menor contenido de grasa y mejorar el rendimiento, pero manteniendo la calidad que el consumidor desea (Bravo Aguilar *et al.*, 2025). Los resultados muestran que el chorizo artesanal contiene mayor cantidad de proteína, menor cantidad de grasa y carbohidratos comparado con el chorizo comercial, por lo que sería un producto más saludable que los comerciales.

CONCLUSIONES

La evaluación de los atributos del chorizo artesanal permitió conocer el comportamiento que presentará el producto en refrigeración durante un tiempo de 28 días; los valores fisicoquímicos de pH, Aw y color muestran cambios significativos en el tiempo, así como el aumento de microorganismos deteriorantes (BAL). La calidad sanitaria del producto al tiempo cero no fue deseable para mesofílicos aerobios, mientras que los coliformes totales, y *Salmonella* spp., estuvieron de conformidad con las normas aplicables. Durante el aumento de BAL, se observó una disminución de crecimiento en mesofílicos aerobios y coliformes totales, mientras que los mohos y levaduras presentaron un aumento en la población. El peligro potencial asociado al tipo de empaque al vacío y al pH inicial, es *C. botulinum* por lo que se recomienda congelación del producto. El chorizo artesanal demostró ser más saludable que el producto comercial, debido a que presenta mayor contenido de proteína y menor cantidad de grasas y carbohidratos. Se recomienda una revisión sanitaria de la materia prima y una inspección *in situ* de proceso durante la preparación del producto.

Agradecimientos

A los productores artesanales del chorizo “Chabelita” (Sr. Alejandro Castillo Sánchez, Sra. Sandra Stella Hernández Leal) por habernos proporcionado la materia prima y las facilidades para la realización de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 2006. *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (17th ed.)
- Becerril-Sánchez, A.L., Dublán-García, O., Domínguez-López, A., Arizmendi-Cotero, D., Quintero-Salazar, B. 2019. La calidad sanitaria del chorizo rojo tradicional que se comercializa en la ciudad de Toluca, Estado de México. *Rev Mex Cienc Pecu*; 10(1):172-185. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4344>
- Blumenthal-Rodríguez, J.; Amaya-Guerra, C.A.; Quintero-Ramos, A.; Castillo-Hernández, S.L.; Bautista-Villarreal, M.; Báez-González, J.G.; Elizondo-Luevano, J.H.; Torres-Alvarez, C. 2025. Eggplant Flour as a Functional Ingredient in Frankfurt-Type Sausages: Design, Preparation and Evaluation. *Foods*, 14, 624. <https://doi.org/10.3390/foods14040624>
- Bravo Aguilar, M. S., Sarmiento Ruiz, D. C., & Neira Silva, J. P. (2025). Uso de Plasma Sanguíneo Porcino en Productos Cárnicos Emulsificados Cocido para Mejorar la Retención de Agua. *Revista Veritas De Difusão Científica*, 6(1), 2081–2097. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v6i1.500>
- Comecarne (Consejo Mexicano de la Carne). 2023. Compendio Estadístico de la Industria Cárnica Mexicana. <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2023/>
- CMC, Consejo Mexicano de la Carne. Mercado consumidor de proteína cárnica en México. 2023. <https://comecarne.org/mercado-consumidor-de-proteina-carnica-en-mexico/>
- Cobos-Velasco, J. E., Soto-Simental, S., Alfaro-Rodríguez, R. H., Aguirre-Álvarez, G., Rodríguez-Pastrana, B. R., & González-Tenorio, R. 2014. Evaluación de parámetros de calidad de chorizos elaborados con carne de conejo, cordero y cerdo, adicionados con fibra de trigo. *Nacameh*, 8(1), 50-64. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6031413>
- Díaz-Ramírez, M., Salgado-Cruz, M., Medellín-Cruz, L., Cruz-Monterrosa, R.G., Rayas-Amor, A.A., Jiménez-Guzmán, J., Cortés-Sánchez, A. 2018. Alimentos artesanales mexicanos: aspectos nutrimentales. *Agroproductividad*. 11 (11): 59-64. DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i11.1284>
- FDA (Food and Drug Administration). *Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance*; FDA: Silver Spring, MD, USA, 2011. <https://books.rsc.org/books/monograph/298/The-Food-Safety-Hazard-Guidebook>
- González-Tenorio R., Totosaus A., Caro I., Mateo J. 2012. Caracterización de Propiedades Químicas y Fisicoquímicas de Chorizos Comercializados en la Zona Centro de México. *Información Tecnológica*. 24(2), 3-14. DOI:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000200002>
- González-Tenorio, R., Caro, I., Soto, S., Rodríguez, B. R., & Mateo, J. 2012. Características microbiológicas de cuatro tipos de chorizo comercializados en el Estado de Hidalgo. *Nacameh*, 6(2), 25-32. <https://portalcientifico.unileon.es/documentos/5f94ccfc2999521ddf0b96a2?lang=en>
- Gerba C. 2015. Indicators microorganisms. *in* Environmental Microbiology. Pepper I.L., Gerba C.P., and Gentry, T.J., Editors. Elsevier, Third edition.
- Heredia, N., Wesley, I., & García, S. 2008. Microbiologically Safe Foods (1st Edition). John Wiley & Sons, Inc. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470439074>

- INCMNSZ. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. 2015. Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (versión condensada), Ciudad de México. ISBN: 978-607-7797-19-7
- Mwove, J. K., Mahungu, S. M., Gogo, L. A., Chikamai, B. N., & Omwamba, M. 2017. Microbial quality and shelf life prediction of vacuum-packaged ready to eat beef rounds containing gum Arabic. *International Journal of Food Studies*, 6(1), 24–33. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a3>
- Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. [Consultado 1 agosto 2023] Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995 - gsc.tab=0
- Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994 Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. [Consultado 1 agosto 2023] Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69533.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1- 1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. [Consultado 1 agosto 2023] Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881226&fecha=13/09/1995#gsc.tab=0
- Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1- 1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. [Consultado 1 agosto 2023] Disponible en: http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4869711&fecha=22/02/1995 - gsc.tab=0
- Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2018, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. [Consultado 1 agosto 2023] Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5556645&fecha=03/04/2019#gsc.tab=0
- Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.
- OPS. Organización Panamericana de la Salud. Etiquetado frontal. Recuperado el 31 de julio del 2023 de <https://www.paho.org/es/temas/etiquetado-frontal>
- Pérez-Martínez, J. F., Pérez-Vargas, C., Pontaza-Ortíz, I., Torres-Mota, D. B., Ariza-Ortega, J. A., Valdez-Ibarra, I. D., & Ramírez-Moreno, E. 2020. Revisión de la composición nutrimental y aditivos de los chorizos comerciales. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 8(16), 135-139. DOI: <https://doi.org/10.29057/icsa.v8i16.5356>
- Services, H. 2001. Evaluation and Definition of Potentially Hazardous a Report of the Institute of Food Technologists. 223.
- Trinks, F. 2014. Microorganismos indicadores. Ministerio de salud; ANMAT.

Cambios en el valor nutricional y bioactivo en la tuna verde por efecto del secado por aire caliente

Changes in nutritional and bioactive value in green prickly pear due to hot air drying

Contreras-Martínez Cristina Sarai ¹, Rodríguez-Rodríguez Aida Margarita, Ramos-Muñoz Laura Gisela ¹, Carranza-Téllez José ², García-González Juan Manuel ², Carranza-Concha José ^{1*}

¹Programa Académico de Nutrición, Unidad Académica de Enfermería, Área de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma de Zacatecas. Carretera Zacatecas-Guadalajara km 6, Ejido 'La Escondida', Zacatecas, México. CP. 98160 *Correo electrónico: jose.carranza@uaz.edu.mx

²Programa Académico de Químico en Alimentos, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Zacatecas. Carretera Zacatecas-Guadalajara km 6, Ejido 'La Escondida', Zacatecas, Zacatecas, México. CP. 98160.

RESUMEN:

La tuna es una fruta muy representativa de México. Es considerada una fruta muy saludable por su gran aporte de agua, fibra, vitaminas y minerales. Su sabor, frescura y diferentes variedades hacen de ella muy atractiva para el consumidor. El secado por aire caliente es una técnica de deshidratación que resalta frente a otros métodos por su sencillez, por los cortos tiempos de proceso, por no depender de las variaciones climáticas. Esta técnica de deshidratación podría considerarse como una alternativa de transformación, conservación y aprovechamiento comercial de la tuna. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del secado por aire caliente a diferentes temperaturas (40, 50, 60 y 70° C) en el valor nutricional y bioactivo de la tuna. Se analizó las muestras en fresco como después del proceso de deshidratación en cuanto al contenido en vitamina C, polifenoles totales, así como la capacidad antioxidante. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido en vitamina C, los polifenoles totales y la capacidad antioxidante entre las temperaturas de secado. El secado provocó una mayor disminución en el contenido inicial de vitamina C en la deshidratación a 40 y 70 °C. En los fenoles totales, la mayor reducción fue de 16% en las muestras deshidratadas a 40°C. En la capacidad antioxidante, se observó un incremento en las muestras deshidratadas, independientemente del método de análisis utilizado.

PALABRAS CLAVE: Deshidratación, ácido ascórbico, tuna, fitoquímicos

ABSTRACT:

The prickly pear is a representative fruit of Mexico. It is considered a very healthy fruit because of its high water content, fiber, vitamins and minerals content. Its flavor, freshness and different varieties make it very attractive to the consumer. Hot air drying is a dehydration technique that stands out from other methods due to its simplicity, short processing times and the fact that it does not depend on climatic variations. This dehydration technique could be considered as an alternative for the transformation, conservation and commercial use of prickly pear. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of hot air drying at different temperatures (40, 50, 60 and 70°C) on the nutritional and bioactive value of prickly pear. Samples were analyzed fresh as well as after the dehydration process for vitamin C content, total polyphenols, and antioxidant capacity. Statistically significant differences in vitamin C content, total polyphenols and antioxidant capacity were observed between drying temperatures. Drying caused a decrease in the initial vitamin C content value of the dehydrated samples at 40 and 70 °C. In total phenols, the greatest reduction was 16% in samples dehydrated at 40°C. Finally, an increase on the antioxidant capacity was observed in the dehydrated samples, regardless of the analysis method used.

KEYWORD: Drying, ascorbic acid, prickly pear, phytochemicals

INTRODUCCIÓN

El consumo frecuente de frutas y verduras ricas en antioxidantes está relacionada a la disminución de la incidencia de enfermedades cardiovasculares o cáncer (Boutakiout *et al.*, 2018), razón por la cual la organización mundial de la salud sugiere una ingesta diaria de 400 g de frutas y verduras como base de una alimentación saludable para prevenir enfermedades no transmisibles (OMS, 2020) asegurando la presencia de polifenoles. Estos compuestos químicos pueden dividirse en cuatro clases principales: flavonoides, lignanos, ácidos fenólicos y estilbenos (Fraga, *et al.*, 2019). Se ha descubierto que poseen propiedades anti-angiogénicas, antienvjecimiento, antiinflamatorias, anticancerígenas y antioxidantes, en beneficio de la salud (Caban y Lewandoska, 2020).

La tuna (*Opuntia ficus-indica spp.*), fruta del nopal, es considerada un ícono de la cultura mexicana, hay evidencia de su producción y consumo desde hace más de 9 000 años (Domínguez-García *et al.*, 2017). Principalmente se consume en fresco, sin embargo, también puede emplearse para la elaboración de otros productos como jugos, mermeladas, jaleas, bebidas alcohólicas o endulzantes (Ammar *et al.*, 2014). Es una fruta no climatérica con forma ovalada, de la cual entre un 28-58 % (p/p) del fruto es pulpa, en la que se encuentran contenidas un gran número de semillas (2-10 %, p/p). Su piel o cáscara es gruesa y espinosa (37-67 %, p/p) (García-Curiel *et al.*, 2024). Su costo accesible, hace de ella una alternativa muy atractiva para formar parte de una dieta saludable.

Los alimentos son sustancias complejas por su origen biológico, principalmente de fuentes animales o vegetales. La mayoría de los alimentos en su forma natural u original son muy perecederos debido a su alto contenido de humedad, que los hace susceptibles a las reacciones bioquímicas y al deterioro microbiano, por lo que comúnmente se recurre a conservarlos de una forma u otra. El secado se ha utilizado durante mucho tiempo como método para reducir las pérdidas postcosecha en muchos productos agrícolas, disminuyendo el contenido de humedad para prolongar su vida útil, manteniendo su disponibilidad durante todo el año o permitiendo su acceso en lugares donde no se producen. Paralelamente, el volumen y el peso se reducen, así como los costos de envasado, manipulación y transporte (Gatea, 2011). Sin embargo, el secado de los alimentos también podría provocar cambios en la calidad física, sensorial, nutricional y microbiológica (Adeyeye *et al.*, 2022).

Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del secado por aire caliente en el valor nutricional y bioactivo de la tuna verde.

MATERIAL Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó tuna de verde o también conocida como blanca, adquiridas en un mercado de la ciudad de Zacatecas, a la cual en fresco se le determinó el pH, los grados Brix ($^{\circ}$ Bx), el contenido en humedad (% Xw), la acidez titulable (mg de ácido tartárico /100g) el contenido de vitamina "C" (mg de ácido ascórbico/100g), los fenoles totales (mg de ácido gálico/100g), la capacidad antioxidante (μ mol de Trolox/100g).

Para el secado se utilizaron 200 g de tuna cortada en rodajas de aproximadamente 5 mm de grosor (incluida la piel). Posteriormente, fueron distribuidas en las bandejas de los deshidratadores de tipo comercial (Hamilton Beach $\text{\textcircled{R}}$), y se procedió a secar con aire caliente a 40, 50, 60 y 70 $^{\circ}$ C, hasta alcanzar una humedad final de al menos 10%. Para evaluar el efecto del secado a diferentes temperaturas, las muestras deshidratadas posteriormente fueron analizadas en cuanto a % de humedad, contenido de vitamina C, fenoles totales y capacidad antioxidante.

Contenido en ácido ascórbico

Se llevó a cabo mediante el método volumétrico 967.21 descrito por la AOAC (2000). Para analizar las muestras se mezclaron 10 g de fruta triturada y 10 ml ácido meta-fosfórico (25%), posteriormente se aforó a 50 ml con agua desionizada. De la disolución anterior se tomaron 3 alícuotas de 10 ml y se titularon con el indicador 2,6 diclorofenol-indofenol, previamente valorado con un patrón de AA (250ppm), en ambos casos hasta la aparición de

un color rosa tenue persistente durante al menos 30 segundos. Los resultados fueron expresados como mg de AA 100g^{-1} .

Extracción de compuestos bioactivos

La extracción de los fitoquímicos para la cuantificación de los fenoles totales (CFT) y de la capacidad antioxidante (CA) se llevó a cabo mediante el método descrito por Tomás-Barberán *et al.*, (2001). Se trituraron 10 g de fruta con 20 ml de MeOH, 5 ml de HCl 6N y 2 mg de NaF, se mezcló con agitación continua durante 30 min a temperatura ambiente, posteriormente fue centrifugada (Sigma 3-16KL, Germany) durante 10 min a 4°C y 4500 rpm.

Fenoles totales

Los fenoles totales (CFT) se cuantificaron utilizando la prueba Folin-Ciocalteu (Li *et al.*, 2006); Se mezclaron 250 μl de extracto con 15 ml de agua desionizada y 1.25 ml de reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA). Después de 5 minutos, se añadieron 3.75 ml de Na_2CO_3 (7.5%), se enrasó a 25 ml con agua desionizada y se dejó reaccionar durante 2 horas en oscuridad, después, se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific 10S, Thermo Fisher Scientific Inc, EE. UU.). Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico (mg GAE/ 100 g).

Capacidad Antioxidante (CA)

La capacidad antioxidante (CA), se cuantificó mediante las técnicas espectrofotométricas del ABTS $\bullet+$ (Re *et al.*, 1999) y DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995).

Método ABTS $\bullet+$

El radical ABTS $\bullet+$ 7 mM (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA) fue generado por persulfato de potasio 2,45 mM (K₂S₂O₈). Esta mezcla, previamente se dejó reaccionar durante 16 h, en oscuridad y a temperatura ambiente (~ 20 °C). La disolución anterior se diluyó para obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.1 a 734 nm. Una vez alcanzada la absorbancia deseada del reactivo ABTS $\bullet+$, se mezclaron 100 μl de extracto de cada fruta con 900 μl de la solución diluida ABTS $\bullet+$, se dejó reaccionar durante 2.5 min a 20 °C, enseguida se midió la absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron como μmol de equivalente de Trolox (TEAC)/100 g de fruta fresca. Todos los experimentos fueron replicados tres veces.

Método DPPH

En cuanto a la medición de la CA por el método DPPH, se añadieron 100 μl de extracto de fruta a 1 ml de 2,2-difenil-1-picrylhidrazil (DPPH) (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA) (3 mg 100 ml⁻¹ en solución etanólica). La absorbancia de las muestras se determinó a 515 nm en el espectrofotómetro, después de una reacción de 2,5 minutos a 20 °C. Los resultados se expresaron como μmol equivalentes de Trolox/100 g de fruta fresca.

Todos los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como promedio y desviación estándar. Para determinar las diferencias significativas de las variables entre los datos en las variedades de frutas, se realizó un ANOVA de una vía, en caso de ser significativo, se aplicó una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron con Statgraphics® Centurion XV (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, EE. UU.). La investigación se realizó en el Laboratorio de Inocuidad e Investigación de Alimentos del Programa Académico de Nutrición de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ).

RESULTADOS

La tabla 1 muestra los valores medios y desviación estándar del análisis composicional de tuna fresca. Los datos obtenidos con respecto a la humedad concuerdan con lo reportado por García Curiel *et al.* (2024) quienes reportaron un 87.55%. En cuanto a sólidos totales (° Bx) y pH se encontraron datos muy similares a Terán *et al.*, (2015), 8.3 grados brix y 5.98 respectivamente.

Tabla 1. Valor nutricional y funcional de la tuna verde en fresco

% Humedad	87 (0.6)
pH	5.39 (0.01)
Acidez titulable (mg de ácido tartárico/100 g)	1.010 (0.001)
Vitamina C (mg de ácido ascórbico /100 g)	29.7 (0.7)
° Brix	8.6 (0.1)
Fenoles Totales (mg de ácido gálico/100 g)	62.6 (2.3)
Capacidad antioxidante ABTS (µmol de Trolox/100 g)	41.4 (0.5)
Capacidad antioxidante DPPH (µmol de Trolox/100 g)	52.9 (2.4)

Para el caso del ácido ascórbico, se obtuvo un valor más alto en comparación los 14 mg/100 g y los 19 mg/100g presentados por García-Curiel *et al.* (2024) y Terán *et al.* (2015) respectivamente. El ácido ascórbico forma parte de las vitaminas hidrosolubles, todos los hombres requieren de esta vitamina (75- 90 mg al día), que se obtiene a partir de las frutas y vegetales (Escott-Stump). El ácido ascórbico (AsA) suele ser utilizado como agente reductor en la industria alimentaria, para prevenir reacciones adversas como el pardeamiento enzimático de los alimentos. El ácido ascórbico posee funciones similares como la de otros ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido oxálico) al regular el nivel microbiano de los productos frescos. Se emplea como conservador en verduras y frutas, evitando la pérdida de vitamina A y de los polifenoles, además de ser considerada una vitamina con un gran poder antioxidante (Zhou *et al.*, 2022).

En relación a los fenoles totales, los valores presentados por Goncalves-Albuquerque *et al.* (2020) van desde los 5.5 mg de AG /100g hasta 432 mg de AG/100g, lo que nos indica la alta variabilidad en este parámetro. Los datos obtenidos en el presente trabajo (62.6 mg de AG/100g) se encuentran dentro del rango que maneja Goncalvez-Albuquerque *et al.*, (2020).

Cada vez hay más interés y recomendaciones para que los consumidores obtengan antioxidantes naturales de origen vegetal en lugar de antioxidantes sintéticos. El consumo frecuente de frutas y verduras ricas en antioxidantes naturales ha demostrado en muchos estudios epidemiológicos disminuir la incidencia de ciertos tipos de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer, quedando establecido que los compuestos polifenólicos naturales tienen una estrecha relación con estas propiedades (Boutakiout *et al.*, 2018).

En cuanto a los resultados del tratamiento de deshidratación, se observaron diferencias significativas en el % de humedad final (base húmeda) entre las muestras (Tabla II). Como era de esperarse a mayor temperatura, menor fue el tiempo de secado, contabilizando 8.5 horas para las muestras de 70 °C, 9 horas para las muestras secadas a 60°C, 11.5 horas para las de 50 °C y 13.5 horas para las de 40°C.

Tabla II. Valores de humedad, vitamina “C” y fenoles totales de la tuna fresca y deshidratada por aire caliente a diferentes temperaturas

Tuna	% Humedad (Base húmeda)	Vitamina “C” (mg de ácido ascórbico/100 g base seca)	Fenoles totales (mg de ácido gálico/ 100 g base seca)
Fresca	87 (0.6) c	228.1 (0.5) d	481.3 (17.7) b
40 °C	7.6 (0.8) b	128.0 (3.8) a	413.7 (3.4) a
50 °C	7.2 (0.3) b	181.1 (3.7) b	403.4 (11.0) a
60 °C	4.9 (0.5) a	191.8 (3.5) c	459.1 (3.9) b
70 °C	4.4 (1.0) a	129.2 (3.6) a	520.4 (3.6) c

* Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (HD Tukey test, $p \leq 0.05$)

Con la finalidad de comparar los efectos del secado entre las muestras, los resultados de la materia prima en fresco se transformaron a base seca. Los datos obtenidos nos permiten observar de forma generalizada una disminución en el contenido en vitamina C, más evidente en las muestras deshidratadas a 40 y 70°C, en ambos casos se observó una pérdida de un 44% del valor inicial, mientras que para las muestras deshidratadas a las temperaturas de 50 °C y de 60 °C fue una disminución de 20% y 16% respectivamente.

Con respecto al contenido fenólico total se observó una disminución de entre 15 %, 16% y 5% en ese parámetro en las muestras deshidratadas a 40, 50 y 60 °C respectivamente, lo cual nos lleva a pensar que este tipo de compuestos podrían haberse degradado por el mayor tiempo de exposición al secado. Por el contrario, las tunas deshidratadas a temperatura de 70 °C, con un menor tiempo de procesado mostraron un incremento en el valor de polifenoles totales. Este incremento posiblemente está relacionado con la diferencia en el porcentaje de humedad final, repercutiendo en la concentración de los polifenoles

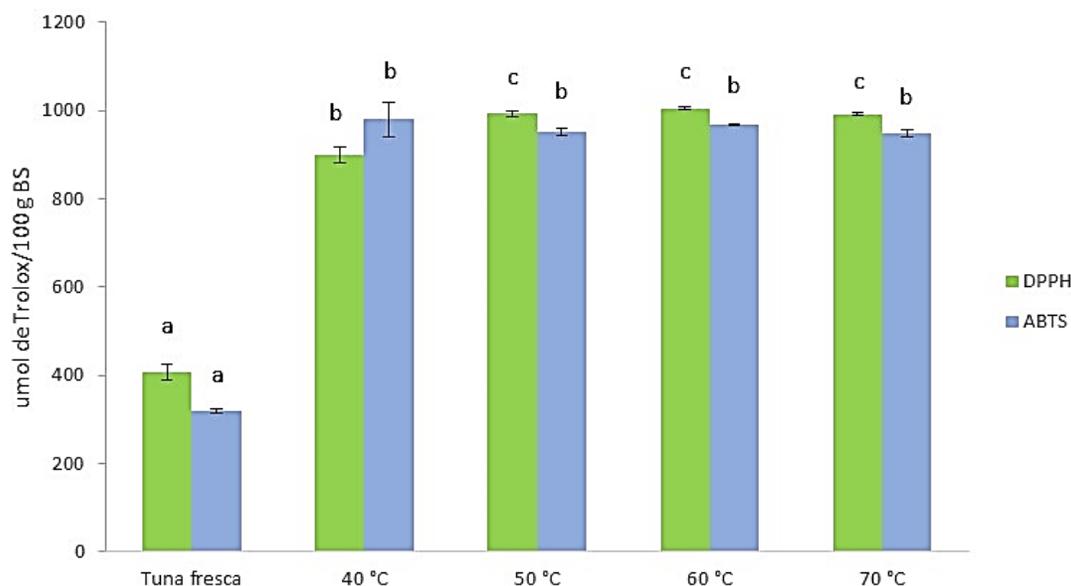


Figura 1. Valores medios y desviación estándar de la capacidad antioxidante de la tuna fresca y deshidratada por aire caliente diferentes temperaturas (* Letras distintas en entre barras del mismo color indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey test, $p \leq 0.05$))

Con respecto a la capacidad antioxidante, se observó un incremento en los valores de las muestras deshidratadas con respecto a la fruta fresca, tanto en el método DPPH como en el ABTS. Cuando se empleó el método ABTS se presentaron diferencias significativas entre los valores de la tuna fresca con respecto a las deshidratadas, no así entre las muestras secas. Mientras que al ser analizadas por el método DPPH además de ser diferente la fresca, también tuvo un valor distinto la tuna deshidratada a 40 °C.

Los valores de capacidad antioxidante (método DPPH) de la tuna fresca pasaron de 407.3 µmol de Trolox/100g BS, a valores más altos, de 899 µmol de Trolox/100g BS, 993.3 µmol de Trolox/100g BS, 1005.5 µmol de Trolox/100g BS y 991.5 µmol de Trolox/100g BS para las muestras deshidratadas a 40, 50, 60 y 70 °C respectivamente. El mismo comportamiento se observó cuando se aplicó la metodología ABTS, esta vez pasando de los valores de tuna fresca de 318.9 µmol de Trolox/100g BS a 979.6 µmol de Trolox/100g BS para la muestra deshidratada a 40 °C, 952.5 µmol de Trolox/100g BS para la de 50 °C, 968.1 µmol de Trolox/100g BS para la de 60 °C y finalmente 948.1 µmol de Trolox/100g BS para la de 70 °C.

CONCLUSIONES

Las propiedades sensoriales y nutricionales de la tuna fresca son muy atractivas para el consumidor. El secado por aire caliente representa una alternativa sencilla para el secado de la tuna para su aprovechamiento en situaciones en las que requiera una transformación, conservación y aprovechamiento de la materia prima. Se considera que la temperatura idónea de deshidratación para la tuna es la de 60 °C tomando en cuenta de forma global en impacto en los parámetros analizados.

REFERENCIAS

- Adeyeye S.A.O., T. J. Ashaolu & A. S. Babu (2022). Food Drying: A Review. *Agricultural Reviews*. DOI: 10.18805/ag.R-2537.
- Ammar I., M. Ennouri, O. Bali, H. Attia (2014). Characterization of two prickly pear species flowers growing in Tunisia at four flowering stages. *LWT- Food Science and Technology* 59: 448e454. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.002>
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (2000) *Official Methods of Analysis of AOAC international* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. 2200 p.
- Boutakiouta A., D. Elothmani, H. Hanine, M. Mahrouz, D. Le Meurlay, I. Hmidb & S. Ennahli (2018). Effects of different harvesting seasons on antioxidant activity and phenolic content of prickly pear cladode juice. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17: 471–480
- Brand-Williams W., M. E. Cuvelier and C. Berset (1995) Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food science and technology* 28:25-30, [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Caban, M. y Lewandowska U. (2022). Polyphenols and the potential mechanisms of their therapeutic benefits against inflammatory bowel diseases. *Journal of Functional Foods*. 95: 105181
- Domínguez-García I. A., M. R. Granados-Sánchez, L. M. Sagarnaga-Villegas, J. M. Salas-González y J. Aguilar-Ávila. (2017) Viabilidad económica y financiera de nopal tuna (*Opuntia ficus-indica*) en Nopaltepec, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol.8, Núm. 6, p. 1371-1382
- García-Curiel L., J.G. Pérez-Flores, F. Mera-Reyes, D. Esparza-Vital, E. Pérez-Escalante, E. Contreras-López, C. Ángel-Jijón y E. J. Olloqui (2024). Potencial nutricional y terapéutico de la tuna y de sus subproductos: un panorama general de su composición química y aplicaciones. *Facultad de Ciencias Biológicas UANL*. Vol. 7 No. 14, segundo semestre 2024
- Gatea, A.A. (2011). Design and construction of a solar drying system, a cylindrical section and an analysis of the performance of the thermal drying system. *African Journal of Agricultural Research*. 6: 343-351.
- Goncalves Albuquerque T., P. Pereira, M. A. Silva, F. Vicente, R. Ramalho and H. S. Costa (2020). Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables. Chapter 44. *Prickly Pear*. Vol. II: 709-728
- Li B. B., B. Smith and M. M. Hossain (2006) Extraction of phenolics from citrus peels: II. Enzyme-assisted extraction method. *Separation and purification technology* 48:189-196, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.07.019>
- Re R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine* 26:1231-1237, [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Terán, Y.; Navas D.; Petit D.; Garrido E.; D'Aubeterre R. (2015). Análisis de las características físico-químicas del fruto de *Opuntia ficus-Indica*(l.) Miller, cosechados en Lara, Venezuela. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. Vol. 16, núm. 1, pp. 69-74
- Tomás-Barberán F. T., M. I. Gil, P. Cremin, A. L. Waterhouse, B. Hess-Pierce and A. A. Kader (2001) HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of agricultural and food chemistry* 49:4748-4760, <https://doi.org/10.1021/jf0104681>
- WHO, 2020. World Health Organization (April, 20, 2024). Increasing fruit and vegetable consumption to reduce the risk of noncommunicable diseases. <https://www.who.int/tools/elena/interventions/fruit-vegetables-ncds>.

Zhou Y., L. Hu, Y. Chen, L. Liao, R. Li, H. Wang, Y. Mo, L. Lin & K. Liu (2022). The combined effect of ascorbic acid and chitosan coating on postharvest quality and cell wall metabolism of papaya fruits. *LWT- Food Science and Technology*. 171: 114134