



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y
SALUD HUMANA**

TESIS DOCTORAL

**DISEÑO DE UN PRODUCTO CÁRNICO FERMENTADO
(SNACK) ADICIONADO CON *Opuntia oligacantha* PARA MEJORAR
SU CALIDAD NUTRICIONAL**

Para obtener el grado de
Doctor en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana

PRESENTA

M en C. Antonio Pérez Montes

Director

Dr. Fabián Ricardo Gómez De Anda

Codirectora

Dra. Deyanira Ojeda Ramírez

Comité

Dr. Tomás Eduardo Fernández Martínez

Dr. Roberto González Tenorio

Tulancingo de Bravo, Hgo., julio 2024



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
 Instituto de Ciencias de la Salud
 School of Medical Sciences
 Área Académica de Nutrición
 Department of Nutrition

San Agustín, Tlaxiaca, Hgo., 03 julio 2024
 Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
 Directora de Administración Escolar

Por este medio se informa que el comité tutorial asignado al M en C. Antonio Pérez Montes con número de cuenta 450524, estudiante del Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana ha terminado el trabajo de tesis titulado "DISEÑO DE UN PRODUCTO CÁRNICO FERMENTADO (SNACK) ADICIONADO CON *Opuntia oligacantha* PARA MEJORAR SU CALIDAD NUTRICIONAL", y por lo tanto se autoriza la impresión del documento en extenso propuesto por el/la estudiante después de haber sido revisado, analizado y evaluado de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 73, VI del Reglamento General de Estudios de Posgrado. Lo anterior, en función de que, el/la estudiante realizó todas las correcciones, adiciones y/o modificaciones sugeridas por el comité en la revisión previa el día 3 de julio de 2024. Por tal motivo, solicitamos a usted tenga a bien permitir al doctorando dar continuidad al proceso necesario que conlleve a la obtención del grado de Doctor en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana.

DR. FABIÁN RICARDO GOMEZ DE ANDA
 Directora de tesis
 DRA. DEYANIRA OJEDA RAMÍREZ
 Codirectora
 DR. ROBERTO GONZÁLEZ TENORIO
 Integrante comité tutorial
 DR. TOMÁS EDUARDO FERNÁNDEZ MARTÍNEZ
 Integrante Comité tutorial

ATENTAMENTE
 "Amor, Orden y Progreso"

M.C. Esp. Enrique Espinosa Aquino
 Director del Instituto de Ciencias de la Salud
 Dean

Dra. Nelly del Socorro Cruz Cansino
 Jefa del Área Académica de Nutrición
 Chair of Academic Area of Nutrition

Dra. Lydia López Pontigo
 Coordinadora de Posgrado del ICsA
 Director of Graduate Studies of ICsA

Dra. Esther Ramírez Moreno
 Representante del Programa Educativo ICsA
 Representative of Graduate Studies



Circuito ex-Hacienda La Concepción s/n
 Carretera Pachuca Actopan, San Agustín
 Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P. 42160
 Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 41524 y
 41528
 nutricion@uaeh.edu.mx



EL PRESENTE TRABAJO SE LLEVÓ A CABO EN:

Taller de cárnicos del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, bajo la dirección de Dr. Roberto González Tenorio.

Taller de Granos y Semillas del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, bajo la dirección de la Dra. Elizabeth Pérez Soto.

En la empresa Carnex bajo la administración del Lic. Héctor Eduardo González Yáñez.

Laboratorio de Parasitología en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, bajo la dirección del Dr. Fabián Ricardo Gómez De Anda.

Laboratorio de Microbiología en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, bajo la dirección del Dr. Víctor Manuel Martínez Juárez.

Bioterio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, bajo la dirección del Dr. Héctor Hernández Domínguez.

APOYOS RECIBIDOS

Beca otorgada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) durante los estudios de posgrado con el número 1076972.

Algunos de los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo se presentaron en los siguientes congresos:

1er Congreso en Biotecnología Farmacéutica, Alimentaria, Ambiental y Salud 2022
“DISEÑO DE UN PRODUCTO CÁRNICO FERMENTADO (SNACK) ADICIONADO
CON *Opuntia oligacantha* PARA MEJORAR SU CALIDAD NUTRICIONAL”

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta tesis doctoral ha sido un viaje largo y desafiante que no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de muchas personas, académicos y colaboradores. A todas ellas, mi más profundo agradecimiento.

En primer lugar, agradezco sinceramente a mi director de tesis Fabián Ricardo Gómez De Anda, por su orientación experta, apoyo constante y paciencia a lo largo de este viaje académico. Sus consejos y conocimientos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Quiero dedicar unas palabras de agradecimiento a mi querida codirectora de tesis, la Dra. Deyanira Ojeda Ramírez la cual ha sido una guía excepcional a lo largo de este proceso de investigación. Su profundo conocimiento y su habilidad científica ha sido importante para desentrañar problemas complejos, siendo fundamental para el desarrollo y la realización de este trabajo.

Agradezco también a los miembros de mi comité de tesis, Dr. Roberto González Tenorio y el Dr. Tomás Eduardo Fernández Martínez, por sus valiosas sugerencias y críticas constructivas que enriquecieron enormemente este proyecto.

Agradezco también a la empresa Carnex la cual me apoyó de manera incondicional al brindarme sus instalaciones para poder trabajar con este trabajo, de forma especial al administrador Lic. Héctor Eduardo González Yáñez por las facilidades otorgadas.

Quiero dedicar un agradecimiento muy especial a mi esposa L. N. Dulce María García Mendoza, por su amor incondicional, paciencia y constante apoyo a lo largo de estos años. Su comprensión y sacrificio han sido fundamentales para que pudiera alcanzar este logro. Gracias por estar siempre a mi lado y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mi familia, especialmente a mis padres Antonio Pérez Olivares y Esperanza Montes Hernández, por su amor incondicional, comprensión y ánimo constante. Sus sacrificios y apoyo emocional fueron mi mayor fuente de fortaleza.

A mis hermanos Álvaro Pérez Montes, Tanya Ivett Pérez Montes y Yoel Pérez Montes que de alguna forma contribuyeron para avanzar con este trabajo.

A mis hijos, Atenea Pérez García y Eithan Elías Pérez García, quienes a su corta vida y edad de 9 años han sido una fuente constante de alegría e inspiración. Gracias por la paciencia, amor y por los momentos de felicidad que me brindaron, que me ayudaron a mantenerme motivado y enfocado.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de investigación en parasitología (Dr. Johan, Mtra. Iracema, MVZ. Erick, Biólogo Oscar, Dra. Liz) quienes con su camaradería y apoyo me proporcionaron un entorno estimulante y colaborativo. Sus discusiones y aportaciones fueron esenciales para la evolución de este proyecto.

Agradezco a Conahcyt por el apoyo financiero y los recursos proporcionados durante estos años. Sin este respaldo, la realización de esta tesis no habría sido posible.

A mis amigos, por estar siempre a mi lado, brindándome momentos de distracción y alegría que tanto necesitaba.

Finalmente, quiero agradecer a todos aquellos que, de una manera u otra, contribuyeron al desarrollo de esta tesis. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN.	1
1. INTRODUCCIÓN.	3
2. MARCO TEÓRICO.	5
2.1 Estructura de la carne.	5
2.2 Composición química de la carne.	6
2.3 Conversión de músculo a carne.	7
2.4 Uso de la grasa en los productos cárnicos.	7
2.5 Uso de aditivos en los productos cárnicos.	8
2.6 Composición química de los productos cárnicos.	9
2.7 Consumo de carne y productos cárnicos en México.	10
2.8 Grupos de productos cárnicos.	11
2.9 Producto cárnico fermentado (snack cárnico).	12
2.10 La carne y los productos cárnicos relacionados con la obesidad.	14
2.11 Tendencias de la industria cárnica.	15
2.12 <i>Opuntia xocconostle</i> .	20
3. JUSTIFICACIÓN.	27
4. OBJETIVOS.	28
5. MATERIALES Y MÉTODOS.	30
5.1 Harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	32
5.1.1 Obtención de la harina.	32
5.1.2 Determinación de las propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	33
5.1.3 Determinación de la composición nutricional de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	34
5.1.4 Determinación de las propiedades tecnológicas de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	36
5.1.5 Determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	38
5.2. Elaboración del snack cárnico con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	40
5.2.1 Propiedades fisicoquímicas del snack cárnico.	42
5.2.2 Propiedades tecnológicas del snack cárnico.	43
5.2.3 Análisis del perfil de textura (TPA) del snack cárnico.	43
5.2.4 Propiedades de microestructura del snack cárnico.	44
5.2.5 Análisis microbiológico del snack cárnico.	44
5.2.6 Análisis sensorial del snack cárnico.	45
5.3 Ensayo <i>in vivo</i> en ratas.	46
5.3.1 Prueba de toxicidad oral aguda de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> en ratas.	46
5.3.2. Dietas adicionadas con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> para ratas.	46
5.3.3. Medición del peso corporal y glucosa capilar en sangre.	49
5.3.4. Eutanasia y análisis del plasma sanguíneo.	49

5.3.5. Longitud de la cola, circunferencia de la cintura y coeficiente de órganos.	50
5.4 Análisis de datos.	51
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	52
6.1 Propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	52
6.2 Composición nutricional de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	55
6.3 Propiedades tecnológicas de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	58
6.4 Snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	62
6.5. Ensayo <i>in vivo</i> en ratas.	75
6.5.1. Toxicidad oral aguda de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> en las ratas.	75
6.5.2. Efecto de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> y el snack cárnico sobre el peso de las ratas.	76
6.5.3. Efecto de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> y el snack cárnico sobre los niveles de glucosa en sangre.	78
6.5.4. Efecto de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> y el snack cárnico sobre los lípidos en sangre.	81
6.5.5. Efecto de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> y el snack cárnico sobre la longitud de la cola y la circunferencia de la cintura.	84
6.5.6. Efecto de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> y el snack cárnico sobre el coeficiente de órganos.	85
7. CONCLUSIONES.	88
8. BIBLIOGRAFÍA.	90

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Estructura del músculo esquelético.	6
Figura 2. Partes del xoconostle.	22
Figura 3. Desarrollo experimental del snack cárnico.	31
Figura 4. Esquema de la obtención de harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	32
Figura 5. Diagrama de flujo de la elaboración del snack cárnico.	41
Figura 6. Snacks cárnicos adicionados con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	41
Figura 7. Obtención de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	52
Figura 8. Parámetros de color en la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	54
Figura 9. Harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	55
Figura 10. Composición nutricional de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	56
Figura 11. Pérdida de peso del snack durante la maduración.	63
Figura 12. Composición nutricional del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	66
Figura 13. Unión de los grupos hidroxilo (OH) de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> con el oxígeno del agua.	67
Figura 14. Microscopía electrónica de barrido (MEB) del snack cárnico con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	70
Figura 15. Prueba de nivel de agrado del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	74
Figura 16. Curva de crecimiento de peso corporal de las ratas después de la prueba de toxicidad aguda con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	75
Figura 17. Peso corporal de las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento o dietas hipercalóricas.	77
Figura 18. Niveles de glucosa de las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento o dietas hipercalóricas	80
Figura 19. Parámetros bioquímicos (colesterol total y triglicéridos) de las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento o dietas hipercalóricas.	81
Figura 20. Coeficiente de órganos de ratas alimentadas con dietas de mantenimiento o dietas hipercalóricas.	87

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Composición química de la carne de diferentes especies animales.	7
Tabla 2. Aditivos usados en los productos cárnicos.	8
Tabla 3. Función de algunas BAL comunes en los cárnicos fermentados secos.	13
Tabla 4. Extracto y harinas de <i>Opuntia</i> utilizadas en algunos alimentos.	21
Tabla 5. Composición química, compuestos bioactivos y actividad antioxidante de xoconostle cuaresmeño.	23
Tabla 6. Composición de ácidos grasos de xoconostle cuaresmeño.	24
Tabla 7. Compuestos antioxidantes de <i>Opuntia xoconostle</i> .	25
Tabla 8. Propiedades antioxidantes del xoconostle cuaresmeño.	25
Tabla 9. Efectos terapéuticos de <i>Opuntia xoconostle</i> .	26
Tabla 10. Formulaciones de snack cárnico adicionados con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	40
Tabla 11. Formulación de las dietas experimentales de mantenimiento e hipercalóricas para ratas.	48
Tabla 12. Esquema de alimentación de las ratas.	49
Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	53
Tabla 14. Propiedades tecnológicas de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	58
Tabla 15. Propiedades de textura de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	61
Tabla 16. Determinación de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	61
Tabla 17. Propiedades fisicoquímicas del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	64
Tabla 18. Propiedades tecnológicas del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	67
Tabla 19. Análisis de perfil de textura (TPA) del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	69
Tabla 20. Bacterias en el snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	72
Tabla 21. Dosis letal (DL ₅₀) de la harina de endocarpio de <i>Opuntia oligacantha</i> .	75
Tabla 22. Medida de la cola y circunferencia de la cintura de las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento o hipercalóricas.	84

RESUMEN.

Las carnes rojas y los productos cárnicos son importantes por su contenido proteico, aminoácidos esenciales, vitaminas del complejo B y minerales como P, Cu, Mg, Se, Cr y Fe; pero bajos en fibra (0.1-0.3%) y altos en grasa saturada (12-40%). Una persona necesita consumir de 25-30 g/día de fibra dietética y 30% de energía a través de grasa. Por el contrario, en México una persona consume el 50% de energía a través de grasa y <18 g/día de fibra dietética. La OMS recomienda que el consumo de carne debe ser <50 g/ día, pero en México el consumo es de 178 g/día. En este contexto el consumo excesivo de carnes rojas y productos cárnicos se relaciona con el desarrollo de sobrepeso y obesidad que se caracterizan por la acumulación excesiva de grasa corporal. La obesidad es un problema de salud pública, en el mundo hay 1,400 millones de adultos con sobrepeso y 500 millones con obesidad. México es uno de los cinco países de Latinoamérica con mayor prevalencia de sobrepeso. La industria cárnica busca reformular los productos cárnicos, sustituyendo parcialmente la grasa con fibra dietética, porque esta tiene propiedades de hidratación y puede modificar las propiedades funcionales y/o nutricionales en los alimentos. La fibra dietética no se digiere, por lo que no se absorbe en intestino delgado, pero es fermentable en intestino grueso, esto ayuda a la motilidad intestinal y sirve de barrera en la absorción de colesterol y glucosa a nivel intestinal. *Opuntia oligacantha* (xoconostle Ulapa) es el fruto ácido del nopal, esta variedad coadyuva en la prevención de la diabetes tipo 2, porque contiene enzimas (α -amilasa, α -amiloglucosidasa), compuestos fenólicos y flavonoides en el endocarpio, que es la parte residual que comúnmente se elimina. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo) en la sustitución de grasa en un snack cárnico. La metodología se dividió en 3 etapas: 1) obtención y caracterización de la harina, 2) elaboración del snack cárnico con diferentes porcentajes de inclusión de harina (0, 7, 14 y 21%), 3) una prueba sensorial de nivel de agrado del snack cárnico y 4) evaluación de la HEOo y snack reformulado en un modelo obesogénico en ratas. La caracterización de la HEOo fue por determinación de pruebas fisicoquímicas, tecnológicas, compuestos fenólicos y antioxidantes. Los resultados indican que la HEOo tiene un rendimiento del 24.24 %, aw (0.317), es baja en proteína y grasa (6.29 y 6.61 %, respectivamente); y alta en fibra dietética, principalmente la fracción

insoluble (73.82 %). Con respecto a las propiedades tecnológicas el índice de absorción de aceite es bajo (0.149 mL/g); y la actividad y estabilidad de emulsión es alta (65.12 y 99.42 % respectivamente); además la HEOo mostró buenas propiedades antioxidantes (40.75-53.32 %) en el ensayo de DPPH, ABTS y FRAP. Por otra parte, el snack cárnico con 7% de HEOo fue sensorialmente aceptable, pero menos que el control debido a granulosidad de la harina; por lo que este snack se incluyó en la formulación de alimentos para ratas obesas para ver su impacto en la salud. Las ratas alimentadas con dietas hipocalóricas adicionadas con snack 25 presentaron un peso corporal de 278-387 g, 400% más alto que el grupo control (90-96.50 g) lo que nos refleja que el consumo del producto cárnico favorece el peso corporal. Sin embargo, las ratas alimentadas con dietas hipocalóricas adicionadas con HEOo tienen niveles de triglicéridos de 34 mg/dL y glucosa 107 mg/dL, cuando las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento sin HEOo tiene de 2 a 3 vez más dichos niveles (108 y 201 mg/dL, respectivamente).

La investigación realizada evaluó el impacto de la HEOo en la sustitución de grasa en snacks cárnicos, mostrando que la inclusión del 7% de HEOo resultó en un producto sensorialmente aceptable. Más importante aún, los experimentos en ratas obesas demostraron que, aunque el consumo de snacks cárnicos puede aumentar el peso corporal, la inclusión de HEOo en dietas hipercalóricas redujo significativamente los niveles de triglicéridos y glucosa en comparación con dietas sin HEOo.

Estos hallazgos sugieren que la reformulación de productos cárnicos para incluir fibra dietética, como la HEOo, puede ser una estrategia efectiva para mitigar los efectos negativos del consumo de carne, especialmente en poblaciones con alta prevalencia de obesidad y enfermedades relacionadas.

Palabras clave: fibra, harina, obesidad, *Opuntia oligacantha*, snack cárnico, xoconostle.

1. INTRODUCCIÓN.

Los primeros registros de obesidad fueron documentados a la mitad del siglo XVI y a finales del siglo XVII la obesidad se convirtió en preocupación. En 1761 la obesidad se relacionó con mayor riesgo de desarrollar enfermedades, y en 1816 se consideró como una enfermedad (Ruiz-Cota et al., 2019). Para que se desarrolle la obesidad, primero hay sobrepeso en la persona (Instituto Nacional de Salud Pública, 2021). Actualmente el sobrepeso y la obesidad son un problema de salud pública mundial. En el mundo hay 1,400 millones de adultos con sobrepeso y 500 millones con obesidad (Campos-Nonato et al., 2023).

México se encuentra entre los cinco países de Latinoamérica con mayor prevalencia de sobrepeso y una alta tasa de obesidad, especialmente en personas de entre 30 y 59 años (INSP, 2021). En las últimas dos décadas, la obesidad ha incrementado un 37% en mujeres y un 45% en hombres (Ruiz-Cota et al., 2019).

Rouhani et al., (2014) mencionan que el riesgo de obesidad está directamente asociado con el consumo excesivo de carnes rojas y productos cárnicos, debido a su alto contenido de grasa insaturada y colesterol. Sin embargo, los productos cárnicos son importantes por sus nutrientes esenciales como proteínas de alto valor biológico, vitaminas del complejo B (tiamina, niacina, B6, B12), retinol, y minerales como hierro y zinc (Farré, 2019).

En México el consumo nacional aparente de carne y productos cárnicos ha tenido un aumento progresivo desde el 2016 al 2021; así como también ha habido un aumento en el consumo per cápita de carne de 68.2 kg a 73.9 kg del 2017 al 2022 respectivamente (COMECARNE, 2024).

Un grupo de productos cárnicos son los embutidos fermentados secos, cuya producción inició en el mediterráneo y posteriormente se diseminó a Europa; actualmente en México su consumo va en aumento. Dentro de este grupo se encuentran los snacks de carne que al igual que otros productos llegan a tener hasta un 30-40% de grasa (Bis-Souza et al., 2019).

En este contexto la industria cárnica ha buscado sustituir la grasa de los productos cárnicos por fibras de vegetales, frutas, cereales o semillas (Pogorzelska-Nowicka et al., 2018; Bis-Souza et al., 2019); aceites vegetales de soya, canola o girasol (Jung y Joo, 2013); o harinas de hongos comestibles (Cerón-Guevara et al., 2019; Cerón-Guevara et al., 2020), debido a que la fibra tiene propiedades de absorción de agua y grasa simultáneamente pudiendo modificar la textura de los productos cárnicos.

Una fuente vegetal alta en fibra es el fruto de *Opuntia oligacantha* (xoconostle Ulapa), una cactácea endémica de América que crece en climas áridos y semiáridos de todo el mundo. Este fruto se caracteriza por tener un pH ácido, bajo contenido de grasa y un contenido importante de ácidos grasos insaturados; además de poseer buenas propiedades funcionales como reducir la glucosa y colesterol (Arias-Rico et al., 2020; Nyam et al., 2014).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de harina de endocarpio (semillas y mucílago) de *Opuntia oligacantha* (HEOo) en la sustitución parcial de grasa de un snack cárnico fermentado.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Estructura de la carne.

La carne está formada por tejido muscular, conectivo y grasa. El tejido muscular está constituido principalmente por las proteínas: actina, miosina, actomiosina; mioglobina, oximioglobina y metamioglobina. Estas proteínas a su vez forman miofibrillas, y un grupo de miofibrillas forma la fibra muscular, y estas a su vez forman un fascículo, y un grupo de fascículos forman el músculo (Figura 1). El tejido conectivo está constituido por las proteínas colágena, elastina y reticulina; y la grasa por adipocitos (Vaclavik, 2008; Mukund & Subramaniam, 2020). La grasa animal está compuesta principalmente por grasa saturada, y se encuentra en las regiones subcutánea, intramuscular, intermuscular, peritoneal y pélvica; en estos depósitos de grasa el principal componente son los triglicéridos (>90%), y en bajas cantidades colesterol, diglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos libres y vitaminas solubles en grasa. La grasa estructural está principalmente en la membrana celular del músculo y adipocitos, siendo los fosfolípidos y colesterol los principales componentes. El contenido de colesterol de la carne es de 50-70 mg/100 g de carne, y existe como colesterol libre y colesterol éster. El colesterol libre está asociado con membranas musculares y de adipocitos, mientras que el colesterol éster se encuentra en los triglicéridos en el tejido adiposo (Cheung & Mehta, 2015).

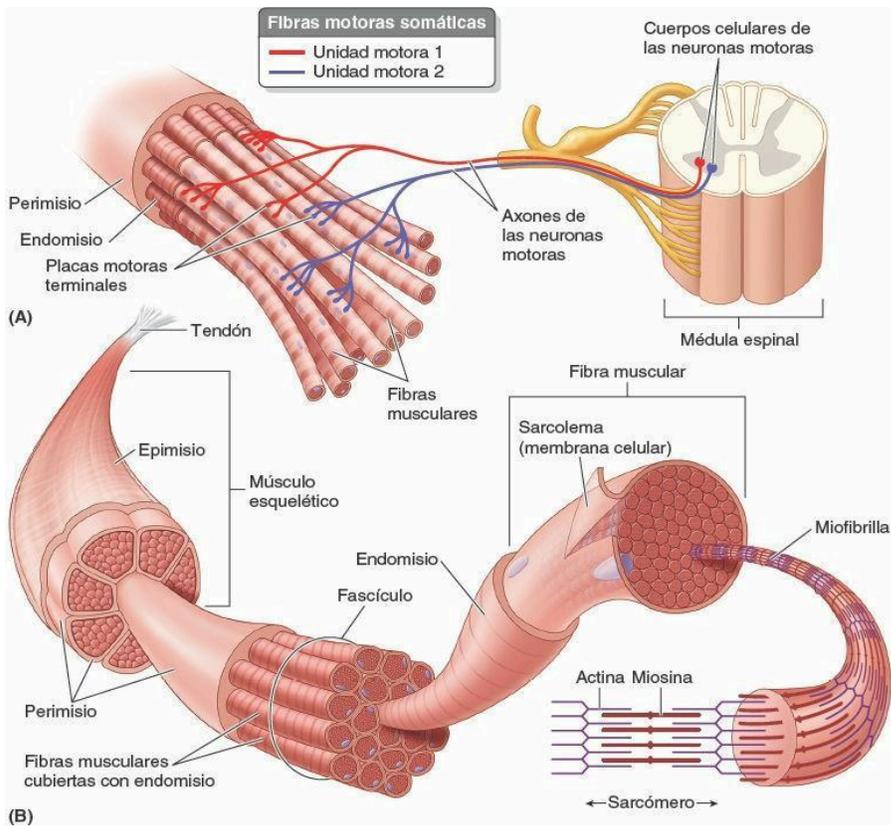


Figura 1. Estructura del músculo esquelético. (Enfermería.top. (s.f.). Sistema muscular: Conceptos básicos.Enfermería.top.https://enfermeria.top/apuntes/anatomia/conceptos-basicos/sistema-muscular/#google_vignette).

2.2 Composición química de la carne.

La composición química de la carne es variable porque influye el tipo de músculo, tipo de corte, raza, edad, etapa de crecimiento, sexo, ejercicio físico, nutrición del animal y especie (tabla 1) (Vaclavik, 2008; Cobos & Díaz, 2015).

De forma general la carne contiene 45-70% de agua, 15-20% de proteína, 5-40% de grasa, carbohidratos, vitaminas hidrosolubles del complejo b necesarias para el crecimiento humano y minerales como Fe, P, Zn y Ca. La tiamina (B1), se emplea en el hígado para la síntesis de cocarboxilasa y tiamina de pirofosfato utilizando glúcidos como fuente de energía; la riboflavina (B2), es parte de las coenzimas que intervienen con los glúcidos, proteínas y grasas; la piridoxina (B6), está relacionada con la oxidación de aminas y la actividad fosforilativa del tejido muscular, y está asociada al metabolismo del triptófano,

importante de degeneración nerviosa; y la cianocobalamina (B12), está relacionada con la folacina, ácido pantoténico, colina y metionina, donde el ácido pantoténico es indispensable en la síntesis de ácidos grasos, triglicéridos, fosfolípidos durante el ciclo de Krebs y en la beta-oxidación de los ácidos grasos (Shimada, 2003).

Tabla 1. Composición química de la carne de diferentes especies animales.

	Pechuga de pollo¹	Res²	Ovino²	Cerdo³
Humedad %	72.7-73.5	71.52	73.51	73.93-74.40
Grasa %	2.8-2.51	6.83	4.56	2.52-3.14
Proteína %	22.17-22.34	20.64	21.62	21.97-22.24
Cenizas %	1.37-1.40	1.35	0.84	--

Los resultados son expresados en porcentaje, Valentini et al., 2020¹, Mohammed et al., 2020², Bahelka et al., 2020³

2.3 Conversión de músculo a carne.

Después del sacrificio del animal ya no hay suministro de nutrientes y oxígeno al músculo, y este se vuelve suave y extensible, pero después de 24 h las proteínas actina y miosina se unen fuertemente y el músculo pierde su extensibilidad, y entra en la fase de rigor mortis; esta fase se caracteriza por una contracción excesiva. Posteriormente ocurre una degradación enzimática por proteasas sobre la estructura muscular, que da como resultado el ablandamiento de la carne. A partir de este momento la carne se convierte en un alimento perecedero y requiere ser procesada para su conservación (Sams, 1999).

2.4 Uso de la grasa en los productos cárnicos.

Durante el procesamiento de la carne se adicionan de 35-50% de grasas comúnmente de lomo de cerdo y res con dos propósitos: nutricional y tecnológico. Desde el punto de vista nutricional las grasas son fuente de energía y actúan como vehículos de vitaminas liposolubles, y tecnológicamente esta grasa es esencial para formar una emulsión cárnica estable, además de contribuir al sabor, textura, firmeza, jugosidad y vida de anaquel de los productos cárnicos. Sin embargo, puede darse la oxidación lipídica afectando la aceptación sensorial y su vida de anaquel del producto cárnico (Abbasi et al., 2019; Da Silva et al., 2019).

2.5 Uso de aditivos en los productos cárnicos.

Los aditivos son sustancias que se agregan directamente a los productos cárnicos durante su elaboración para mejorar la vida de anaquel, además de intensificar el aroma, color o sabor y mejorar la estabilidad. En la tabla 2 se enlistan los aditivos más comunes (NOM-213S-SSA1-2002, NOM-122-SSA1-1994).

El nitrito de sodio, nitrito de potasio, nitrato de sodio y nitrato de potasio son aditivos que aportan un color rosado a los productos, además de poseer efecto antibacteriano (Karwowska & Kononiuk, 2020). Asimismo, los ácidos acético y láctico son aditivos comúnmente usados en los productos cárnicos por su efecto contra *Salmonella* y *E. coli* (Mirhosseini & Arjmand, 2014).

Tabla 2. Aditivos usados en los productos cárnicos.

USO	ADITIVO	LÍMITE MÁXIMO
Reguladores de pH	Ácidos acético, láctico, fosfórico, tartárico, cítrico, fumárico y lactato de sodio	Buenas prácticas de fabricación
Acelerador de color	Glucono delta lactona	Buenas prácticas de fabricación
Ligadores	Gomas vegetales: Agar agar, goma guar, ácido alginico, alginatos de sodio o potasio, carragenina, goma karaya. Proteínas y féculas: proteínas aisladas de soya, concentrado de soya, caseinato de sodio, colágeno, suero de leche en polvo, leche en polvo descremada, harina de cereales, féculas, almidones	La suma de las gomas < a 1.5% Los demás ligadores del 2-10%
Edulcorantes	Sacarosa, azúcar invertida, dextrosa en polvo, jarabe de maíz, maltosa, miel de abeja, lactosa y glucosa.	2%
Antioxidantes	Ácido ascórbico, ascorbato de sodio, ácido eritórbito, O-tocoferol, eritorbato de sodio, ácido fumárico, ácido cítrico, citrato de sodio, BHA, BHT, TBHQ	0.05% O-tocoferol buenas prácticas de fabricación BHA, BHT, TBHQ 0.01%
Acentuadores del color	Glutamato monosódico, inosinato disódico, guanilato disódico, proteína vegetal hidrolizada, humo de madera no resinosa	0.05 - 2% En humo buenas prácticas de fabricación
Retenedores de sabor	Fosfatos mono y disódico, meta y polifosfato de sodio, tripolifosfato de sodio, pirofosfato ácido de sodio, pirofosfato tetrasódico	0.5%
Conservadores	Propionato de sodio, sorbato de potasio, propilparabeno, benzoato de sodio, nitrato y nitrito de sodio (nitritos)	Suma total de los conservadores < 0.1% Nitritos 156 mg/kg
Colorantes naturales	-----	Buenas prácticas de fabricación

(Tomado de NOM-213S-SSA1-2002, NOM-122-SSA1-1994).

Los ligadores más comunes en los alimentos son los alginatos, carragenina y pectina, su principal función es mantener la textura del producto, y prevenir la evaporación y deterioro de los aceites aromatizantes volátiles (Corocho et al., 2014).

Los edulcorantes más comunes son el aspartame, ciclamato, sacarina y acesulfamo de K, estos promueven la sensación de dulzura, pero con menos ingesta calórica (Jiao & Wang, 2018).

El inosinato de disódico y el glutamato monosódico son aditivos que acentúan el color y retienen sabor en los alimentos; el glutamato monosódico a concentración de 0.3 g/100 g de producto logra reducir de 1.5 a 0.75 el NaCl por 100 g de producto, cuando se combinan en salchichas y hamburguesas mejorando la sensación de salado (Pino & Aragüez, 2021). Otro aditivo que proporciona sabor salado es el KCl, sin embargo, el más común es el NaCl porque también previene el crecimiento de bacterias, mejora la textura del producto cárnico y alarga la vida de anaquel (Pino & Aragüez, 2021).

Los antioxidantes son usados especialmente para extender la vida de anaquel, porque previenen la oxidación de las moléculas donando un átomo de hidrógeno permaneciendo estables los radicales evitando así la peroxidación lipídica y rancidez (Carocho et al., 2014). Los antioxidantes sintéticos más comunes usados en los productos cárnicos son el hidroxianisol butilado (BHA) e hidroxitolueno butilado (BHT) (Villansante et al., 2019, Bozkurt y Belibagli, 2016). Carocho et al., 2014 mencionan en una revisión bibliográfica que el BHA y BHT tienen un efecto dañino y carcinogénico sobre modelos murinos y humanos; sin embargo, permiten que la composición química de los productos cárnicos se mantenga estable y sea de calidad (Cheung & Mehta, 2015).

2.6 Composición química de los productos cárnicos.

Los productos cárnicos son los productos que resultan transformados después de un proceso donde la carne fresca ha sido cortada en fragmentos a los que se le han añadido productos alimenticios, condimentos o aditivos (Cobos & Díaz, 2015).

La composición química en los productos cárnicos más comerciales es variable, la carne para hamburguesa contiene agua 38.45 g, proteína 16.52 g, grasa 12.01 g, cenizas 1.52 g, carbohidratos 31.50 g, Ca 62 mg, Fe 3.06 mg, Na 331 mg, P 134 mg por cada 100 g de producto (Cobos & Díaz, 2015). La salchicha de cerdo fermentada tiene una humedad de 27.99-44.20%, grasa de 33.01-39.19%, proteína de 40.54-40.33%, cenizas de 10-12% y carbohidratos de 13-15% (Franco et al., 2020). El nugget de pollo tiene una humedad de 43.33-62.90%, grasa de 0.47-1.30%, proteína de 6.99-9.84%, cenizas de 2.93-3.03% y carbohidratos de 26.52-42.59% (Husain & Huda-Faujan, 2020). El nugget de cabra tiene una humedad de 65.29-67.23 g, grasa de 12.08-12.26 g, proteína de 14.68-15.35 g, cenizas de 2.67-4.68 g por cada 100 g de producto (Banerjee et al., 2020). En general los chorizos, jamones y salchichas comerciales en México contienen fibra dietética de 0-0.7, 1.6 g/100g de producto; por el contrario, los productos cárnicos antes mencionados tienen un rango de 12-40% de grasa.

2.7 Consumo de carne y productos cárnicos en México.

En el 2021 el consumo de carne en México fue de 9, 017 miles de t dentro de las cuales 4, 737 fueron de pollo; 2, 305 de cerdo y 1, 975 de res; mientras que la producción nacional para ese año fue 7, 420 miles de t; es decir, el país no logró producir lo que se consumió, por lo que se importaron 2, 280 miles de t de carne. Además de que del 2016 al 2021 se reportó un aumento progresivo en la producción y el consumo de carne, siendo mayor este último; por ejemplo, del 2020 al 2021 se reportó un aumento en la producción de carne de 2.2%, cuando el consumo de carne aumentó un 5.4% (COMECARNE, 2024). En este contexto es emergente optimizar el uso eficiente de las canales de carne en la producción de productos cárnicos.

En el 2023, México se posicionó como el 6to país consumidor de carne a nivel mundial, el promedio del consumo *per cápita* de carne (pollo, res y cerdo) es de 74 kg/año/persona siendo Estados Unidos de América y Argentina los mayores consumidores con un consumo *per cápita* de carne de 118 kg/año/persona (COMECARNE, 2024).

Asimismo, en el país aumentó la producción de productos cárnicos y su consumo del 2020 al 2021 (3.8 y 6.6%, respectivamente). Además, el consejo mexicano de la carne reportó que en promedio un mexicano consume 690 g de productos cárnicos al mes, y que este supera la producción de estos productos (89, 707 t consumidas vs 86, 878 t producidas) (COMECARNE, 2024).

México produce 8.5 millones de toneladas de carne res, pollo y cerdo; y 6.7 millones de toneladas de productos cárnicos al año (The food tech, 2021) y existen más de 300 productos embutidos de res, cerdo, pollo y cabrito en México clasificados en diferentes grupos (ANETIF, 2021).

2.8 Grupos de productos cárnicos.

Los productos cárnicos pueden clasificarse según la FAO (2022) en las siguientes categorías:

Carnes frescas: Incluyen productos de carne que no han sido sometidos a ningún proceso de conservación, como carne fresca refrigerada o congelada.

Carnes procesadas: Comprenden productos que han sido sometidos a procesos como el salado, curado, fermentación, ahumado, secado o cocción. Ejemplos incluyen salchichas, jamón y tocino.

Carnes enlatadas: Estos productos han sido cocidos y sellados herméticamente en latas para prolongar su vida útil. Ejemplos incluyen corned beef y carne en conserva.

Carnes deshidratadas: Productos sometidos a procesos de deshidratación para eliminar la mayor parte del contenido de agua, como el jerky.

Carnes reestructuradas: Incluyen productos que han sido descompuestos y luego reconstituidos mediante técnicas como la extrusión, prensado o moldeado. Ejemplos incluyen algunos tipos de nuggets y hamburguesas.

Carnes cocidas: Estos productos han sido cocidos y están listos para el consumo, tales como las salchichas cocidas y las albóndigas.

Carnes fermentadas: Productos que han pasado por un proceso de fermentación, lo que desarrolla sabores únicos y ayuda en la conservación. Ejemplos son salami y chorizo.

Esta clasificación de la FAO proporciona un marco para entender la diversidad de productos cárnicos disponibles en el mercado y sus métodos de preparación y conservación.

2.9 Producto cárnico fermentado (snack cárnico).

Un snack cárnico se define como una botana de carne seca en forma de tiras, que se pueden comer con la mano “*fingerfood*”, sin la necesidad de adicionar otro ingrediente, se conservan a temperatura ambiente y no requieren refrigeración, por lo que estos productos son útiles para personas de labor agropecuaria, excursionistas y similares (Davies, 1990).

Los ingredientes del snack cárnico principalmente son carne, grasa, sal, carbohidratos y bacterias ácido lácticas (BAL). La carne y la grasa son pre-molidas antes del mezclado; al inicio de mezclado se agregan las BAL; y los carbohidratos (dextrosa) y sales (NaCl y sal cura) son agregadas al final del mezclado (Hansen, 2003).

Los ingredientes combinados incluyen embutidos en tripa natural o de colágeno. Luego, el embutido se somete a condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (% HR) en cámaras de refrigeración para facilitar la fermentación, seguida de la maduración y finalmente el secado (Hansen, 2003).

La fermentación se lleva a cabo a 24-26 °C y 90-95 % humedad relativa, comienza después del embutido y dura de 12-24 h, en esta etapa el pH del embutido alcanza el nivel más bajo (pH 4.6-5.2), gracias al incremento en el contenido de ácido láctico, como resultado de la ruptura de los carbohidratos (dextrosa y lactosa) por el metabolismo de las BAL. Los géneros de BAL más comunes son *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Saccharomyces* y *Pediococcus*, existen cepas comerciales que contienen *Lactobacillus sakei*, *Pediococcus acidalactici*, *Staphylococcus carnosus subsp. utilis*, *Staphylococcus carnosus* con funciones específicas como se ve en la tabla 3 (Fernández-López et al., 2008).

Tabla 3. Función de algunas bacterias ácido lácticas (BAL) comunes en los cárnicos fermentados secos.

BAL	Función
<i>Staphylococcus carnosus</i>	Mejoran color, sabor y aroma
<i>Pediococcus acidalactici</i>	Fermentación rápida (26-38 °C)
<i>Lactobacillus sakei</i>	Fermentación rápida (22-32 °C), aromáticos

(Hansen, 2003).

Durante la maduración, que se realiza a temperaturas de 14-16 °C y una humedad relativa del 80-85% durante un período de 12 días dependiendo del tipo de embutido, se producen cambios físicos, microbiológicos y bioquímicos cruciales. Estos cambios son fundamentales para la conservación y calidad del producto, mejorando significativamente los parámetros sensoriales como la textura, el color, el sabor y el aroma. La duración y los efectos específicos de la maduración pueden variar según el tipo de embutido y el nivel de actividad del agua (*aw*) deseado (Bis-Souza et al., 2019). Las proteasas y enzimas microbianas hidrolizan las proteínas en péptidos y estos en aminoácidos y así mismo en compuestos volátiles como aldehídos, ácidos, tioles y sulfuros. Los lípidos son hidrolizados por lipasas y enzimas microbianas en ácidos grasos saturados y no saturados, y estos degradados a aldehídos y cetonas. Los azúcares son degradados en ácido láctico, ácido acético y diacetilo (Hansen, 2003; Eim et al., 2012). Además, hay hongos y levaduras que se encuentran en ambos procesos (fermentación y maduración). Las levaduras crecen en condiciones de baja humedad, altas concentraciones de sal, baja *aw* y pH; estas son secuestrantes de oxígeno, y pueden retrasar la rancidez y el aroma, por su actividad proteolítica y lipolítica. *Debaryomyces hansenii* es una levadura común en el proceso de maduración, que tolera el NaCl y nitrato, otras especies de levaduras que se han aislado de salchichas fermentadas son *Pichia*, *Yarrowia*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*, *Saccharomyces* y *Trichosporon* (García-Béjar et al., 2020).

Finalmente, el secado del snack cárnico ocurre a 22-24 °C, 55-60 % HR y durante 24h; en esta etapa ocurre un ajuste en la liberación de agua del interior del embutido con el exterior; en este tipo de embutidos se considera una merma de al menos un 30% del peso inicial del embutido para que el producto se considere seco; y una *aw* por debajo de 0.95 para embutidos semi secos y por debajo de 0.90 para embutidos secos, deseable para la

estabilidad microbiana. Después que el embutido está seco, el paso siguiente es el empacado al vacío para su conservación (Hansen, 2003; Eim et al., 2012).

2.10 La carne y los productos cárnicos relacionados con la obesidad.

En el mundo hay 1,400 millones de adultos con sobrepeso y 500 millones con obesidad (INSP, 2021). En el 2018, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) reportó que México tiene una población de 0-4 años con 9.7 millones, una población de 5-9 años con 11.1 millones, una población de 10-19 años con 22.8 millones y una población de 20 y más años con 82.7 millones de habitantes considerando ambos sexos. En el mismo año, el 22.2% de la población de 0-4 años se identificó con riesgo de sobrepeso; el 35.6% de la población de 5-9 años tuvo prevalencia de sobrepeso y obesidad; el 35.8-41.1% de la población de 10-19 años presentaron sobrepeso y obesidad; y del 73.0-76.8% de la población de 20 y más años se reportaron con sobrepeso y obesidad (ENSANUT, 2018). De acuerdo con las estadísticas del Instituto Nacional de Salud Pública de México (INSP) en el 2021, se menciona a México como uno de los 5 países de Latinoamérica con mayor prevalencia de sobrepeso.

La obesidad es una enfermedad crónica multifactorial y sus factores de riesgo pueden ser a nivel individual, en el entorno de los individuos y básicos o estructurales. El sobrepeso y obesidad materna al inicio del embarazo, la ganancia excesiva de peso durante el embarazo, aumentan en riesgo de peso excesivo al nacer y el riesgo de obesidad en etapas posteriores. El ambiente o entorno alimentario como la falta de actividad física y la proximidad a los establecimientos de alimentos y bebidas densos de energía con precios accesibles y su publicidad en medios digitales, ha obstaculizado la compra de dietas saludables. Los factores básicos o estructurales como la urbanización y la industrialización, innovaciones tecnológicas en el procesamiento de los alimentos y comercio internacional inciden sobre la obesidad (INSP, 2021) en la que están involucrados aspectos genéticos, ambientales y estilo de vida que llevan a una excesiva acumulación de grasa corporal (INSP, 2021).

El sobrepeso y obesidad resultan del desequilibrio que se da cuando la ingesta de energía excede el total de energía gastada; debido a la ingesta compulsiva de alimentos altamente palatables por su alto contenido de grasa y azúcares. El sobreconsumo de alimentos

industrializados, caracterizados por ser altos en densidad energética y bajos en densidad nutrimental, aumentan la expresión de las señales del hambre y debilitan las respuestas a las señales de saciedad producidas a nivel del hipotálamo y órganos periféricos; estos alimentos también movilizan opioides y dopaminas en el sistema de recompensa, que a su vez estimulan la ingestión de más azúcar y más grasa, por lo que se genera un círculo vicioso creando una dependencia en estos alimentos (INSP, 2021).

Los productos cárnicos tienen un alto contenido de grasa y energía, con un consumo promedio reportado de 8.7 a 10.2 g/d en adultos y de 15.8 a 17.5 g/d en niños y adolescentes. Sin embargo, las recomendaciones indican que la ingesta de productos cárnicos debe ser inferior a 8.6 g/d para adolescentes y adultos, y menor a 6.9 g/d para niños (INSP, 2021). En países europeos, el consumo energético proveniente de la grasa ha superado el 50%, mientras que en países en desarrollo ha alcanzado el 25% (Morett & Ruiz, 2023). Esto contrasta con la recomendación de que menos del 30% de la ingesta calórica total provenga de grasas (INSP, 2021).

2.11 Tendencias de la industria cárnica.

2.11.1 Aporte proteína en los productos cárnicos.

La baja eficiencia en la producción de proteína animal (Pintado & Delgado-Pando, 2020) y la demanda de productos cárnicos saludables y aspectos económicos (Tello et al., 2024), ha originado buscar proteínas de origen vegetal.

Las recomendaciones del consumo de proteína son de 13-63 g de proteína por día dependiendo de la edad de la persona (Tellez & Tovar, 2020). Generalmente los productos cárnicos contienen de 6.99-40.54% de proteína (Banerjee et al., 2020; Husain & Huda-Faujan, 2020). Sin embargo, solo se permite adicionar proteínas de pescado, de soya, ovoalbúmina, de leche y de suero de leche y otras fuentes inocuas (NOM-086-SSA1-1994).

Las leguminosas (chícharo, garbanzo, lentejas, frijoles, soya) contienen de 18.4-34.1% de proteína y parte de ella es de alta digestibilidad, por lo que se han utilizado para aportar proteína a las salchichas, empanadas de cerdo y res, pollo deshidratado y albóndigas (Pintado & Delgado-Pando, 2020).

Una propiedad de las leguminosas es que pueden mejorar la capacidad de retención de agua, por ejemplo, la proteína de soya tiene propiedades gelificantes; la harina de chícharos evita la pérdida por cocción, proporciona alta estabilidad de emulsión y capacidad de absorción de agua en empanadas. La harina de garbanzos (3-9%) incrementa el rendimiento y estabilidad de emulsión en rollos de carne. Otra propiedad es la textura donde el garbanzo, frijol y lenteja proporcionan mayor dureza a las albóndigas (Pintado & Delgado-Pando, 2020).

El color de las leguminosas no afecta el color de los productos adicionados con leguminosas, pero depende de la concentración utilizada. En general las leguminosas se pueden usar desde el 5 al 50% en los productos cárnicos (Pintado & Delgado-Pando, 2020).

Con relación a lo anterior, los hongos comestibles (micoproteínas) también pueden sustituir proteína y tienen la propiedad de mejorar la emulsión del producto cárnico; existen más de 3000 especies de hongos, su contenido proteico es alrededor del 20% (Kurt & Gençcelep, 2018; Asgar et al., 2010).

Las semillas oleaginosas, como el cártamo, la colza y la soya, contienen entre un 13% y un 37% de proteínas, incluyendo albúminas, globulinas y glutelinas. De igual manera, los cereales como el trigo, el arroz, el maíz, la cebada y la avena son una fuente importante de proteínas, con un contenido que varía entre el 7% y el 17.5%, y contienen principalmente albúminas, globulinas, gliadinas y glutelinas. Un ingrediente comúnmente utilizado en los alimentos cárnicos es la proteína de gluten de trigo, actualmente se ha aumentado la utilización de estas proteínas vegetales en los productos cárnicos los cuales pueden ofrecer beneficios significativos. Incorporar proteínas de semillas oleaginosas y cereales en productos cárnicos no solo mejora el perfil nutricional, sino que también puede contribuir a la sostenibilidad de la producción alimentaria (Asgar et al., 2010).

2.11.2 Sustitución parcial de sal en los productos cárnicos.

Reducir el consumo de sal en la dieta de la población es un desafío, se han propuesto campañas sobre disminuir el consumo de sal y uso de ingredientes altos en sodio; así como aumentar el consumo de ingredientes naturales y menos alimentos procesados, pero no se consigue respuesta favorable (Blanco Metzler et al., 2020).

A pesar de lo anterior, la sal es un ingrediente muy frecuentemente utilizado en los productos cárnicos, porque actúa como conservador, mejora el sabor y aroma de los productos cárnicos (Comenero et al 1989; Acuña, 2018).

El uso de tecnologías se ha aplicado para ayudar a reducir el uso de NaCl en los productos cárnicos, incluyendo el ultrasonido, alta presión y campo de pulso eléctrico. El ultrasonido causa micro rupturas en las proteínas modificando su estructura, alterando las propiedades funcionales, disminuyendo así hasta el 30% el uso de NaCl. El procesamiento a alta presión (100-800 MPa) causa daño a la membrana celular y desnaturalización de las proteínas inactivando bacterias patógenas, lo cual reduce del 48-53% el uso de sal, además incrementa la vida de anaquel y mejora la textura del producto cárnico. El campo de pulso eléctrico forma poros en la membrana de las miofibrillas del producto cárnico (electroporación), estos poros sirven como canales para la difusión de NaCl, reduciendo el uso de NaCl en los productos cárnicos (Vivanco et al., 2021).

Otra alternativa para reducir el contenido de sal en los productos cárnicos son los hongos comestibles, ellos contienen sodio alrededor de 5 mg/100 g de hongo, y pueden sustituir hasta en un 45% la carne, disminuyendo un 45% el uso de sal (Orellana & Ullauri, 2022). Considerando que los productos cárnicos son altos en NaCl (666-5875 mg/100 g de producto) (Cerón et al., 2020), los hongos comestibles son viables para reducir el contenido de sal en los productos cárnicos.

Otra práctica común es sustituir NaCl por KCl; sin embargo, se sabe que esta sal imparte un sabor amargo (Noboa et al., 2023), incluso se pueden usar especias para reducir el uso de sal, pero pueden dar sabores desagradables (Vilela et al., 2017).

2.11.3 Sustitución parcial de grasa en los productos cárnicos.

La reducción de grasa en los productos cárnicos es por tres razones: reducción de grasa animal y colesterol, incrementar la proporción de grasa insaturada y disminuir el total de calorías (Patel et al., 2020).

Sin embargo, se sabe que la grasa en los productos cárnicos contribuye en las propiedades funcionales y características organolépticas (suavidad, sabor, viscosidad y jugosidad); además es importante en la estabilidad de las emulsiones cárnicas (Ortiz & Meléndez, 2021).

El reemplazo de grasa saturada animal por aceites vegetales en los productos cárnicos ha sido exitoso (Arredondo, 2022), por lo que se recomienda usar ingredientes que contengan grasa monoinsaturada y poliinsaturada, principalmente aceites de soya, olivo, girasol, canola, aceite de pescado y semillas, reemplazando de 20 a 50% la grasa saturada (López-Pedrouso et al., 2021).

Recientemente, se ha estudiado el uso de oleogel (fitoesteroles, monoglicéridos, etil celulosa, sorbitan monoestearato, glicerol monoestearato) como sustitutos de grasa. Se ha observado que se pueden usar concentraciones desde 0.2 hasta 37.5% en mantequillas, hamburguesas, empanadas, salchicha y paté, mejorando el perfil de ácidos grasos poliinsaturados sin afectar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales, además de disminuir los ácidos grasos saturados, aumentar la proporción de ácidos grasos omega 6/omega 3, y reducir pérdidas del cocimiento (López-Pedrouso et al., 2021).

Otra alternativa para reducir la grasa en los productos cárnicos son los hongos comestibles, ellos logran reducir la grasa hasta un 25% en hamburguesas de res y salchichas tipo Frankfurter, donde no se afecta el color, elasticidad, cohesividad; y disminuye las pérdidas por cocimiento (Cerón-Guevara et al., 2019; 2020).

2.11.4 Utilización de fibra dietética en productos cárnicos.

La fibra dietética es la parte comestibles de los cereales, frutas, verduras o hidratos de carbono análogos que resisten a la digestión y la absorción en el intestino delgado, y sufre una fermentación total parcial en el intestino grueso; la fibra dietética está formada por carbohidratos como celulosa, hemicelulosa y pectina, y no carbohidratos como lignina (Talukder, 2015; NOM-043-SSA2-2005). Sin embargo, la fibra se puede clasificar de acuerdo con sus propiedades químicas en: polisacáridos no almidonados (celulosa, hemicelulosa, pectina, hidrocoloides), oligosacáridos resistentes (fructooligosacáridos, galactooligosacáridos, otros oligosacáridos resistentes), almidón resistente y lignina. Pero la clasificación más usada es la solubilidad y fermentación. Las fibras insolubles y poco fermentables (celulosa, parte de la hemicelulosa y lignina) y fibra soluble y muy fermentable (pectina, glucanos, pentosanos, gomas, glucomanos, inulina, almidón resistente, dextrinas resistentes, poli dextranos, fructooligosacáridos y mucílagos) (Ursachi et al., 2020).

La fibra dietética tiene doble función: 1) fisiológica, la fracción insoluble de la fibra dietética se relaciona con la regulación intestinal; mientras que la fibra soluble se relaciona con la disminución de colesterol y absorción de la glucosa intestinal (Ursachi et al., 2020); 2) tecnológica, la fibra dietética en los productos cárnicos mejora la capacidad de retención de agua, estabilidad en la congelación/descongelación, reemplaza la grasa, incrementa el rendimiento del producto, reduce o aumenta la dureza y puede no afectar las propiedades organolépticas como sabor color, apariencia, jugosidad (Talukder, 2015).

Algunos productos cárnicos donde se ha adicionado fibra dietética son salchichas, mortadela, rollos de carne, empanadas de res, hamburguesa de búfalo, empanadas de pollo, nuggets de pollo y empanadas de cabra (Pacheco et al., 2011).

La organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura (FAO) recomienda consumir 25 g de fibra dietética al día. En México los adultos consumen entre 16 y 18 g por día de fibra dietética (OMS, 2016). Algunos productos cárnicos comúnmente consumidos en México son la salchicha de pavo FUD, que contiene fibra dietética 0.3 g/62.5 g; el jamón de cerdo VIRGINIA contiene fibra dietética 0.3 g/100 g de producto y el queso de cerdo contiene fibra dietética 0 g/100 g.

Se ha comprobado que el consumo de fibra previene la obesidad, estudios en ratas en donde el consumo de povidex (fibra) en un 6% reduce la glucemia, baja la intolerancia a la glucosa y resistencia a la insulina, presentándose menor ganancia de peso corporal, por lo que la fibra controla la dislipidemia y obesidad (Souza et al., 2020).

2.12 *Opuntia xocconostle*.

2.12.1 Utilización de las cactáceas en los alimentos.

México aproximadamente tiene el 65% de tierras secas y esto es una oportunidad para las cactáceas. Algunas de ellas son *Echinocactus platyacanthus* “Biznaga”, utilizada en la confitería; *Escontria chiotilla* “jiotilla” para preparar mermeladas, helados y bebidas alcohólicas; *Ferocactus histrix* “borrachitas” es consumida su flor y fruta, ya sea preparada en bebida no alcohólica o en paleta; *Hylocereus sp* “pitahaya” su fruta se consume fresca, en vino, jugo, cócteles, refrescos, gelatina, yogurt y mermelada; *Mammillaria grahamii Engelm* “chilitos”, su pulpa se utiliza como comida; *Myrtilocactus geomettizans* “berry cactus”, la fruta se puede comer fresca o en helado, mermeladas, jaleas o en aguardiente; *Opuntia sp.* “tuna” se ha utilizado en mermelada, harina, jugos, dulces; *Stenocereus sp.* “pitaya” se consume fresca o seca para hacer mermeladas, helados, tamales, tortillas, bebidas alcohólicas, no alcohólicas y como colorante natural; *Opuntia xocconostle* “pera agria de nopal” se ha usado como condimento en las comidas (Ramírez-Rodríguez et al., 2020). La investigación sobre el uso de xocconostle en productos cárnicos es escasa, en la tabla 4 se mencionan algunos alimentos adicionados con especies del género *Opuntia*.

Tabla 4. Extracto y harinas de *Opuntia* utilizadas en algunos alimentos.

Especie	Forma/alimento	Resultados principales	Referencia
<i>Opuntia oligacantha</i> (xoconostle)	Extracto de pulpa (0, 5, 10, 20 y 30 %) en salchicha de cerdo.	Disminuye la oxidación de lípidos en las salchichas con el incremento de extractos al 5 y 10 %. La dureza y masticabilidad incrementan con el incremento del porcentaje de extracto y tiempo, sucede lo contrario con la cohesividad y elasticidad. Se reduce la grasa y aumentan las cenizas.	Campos-Montiel et al., 2021
<i>Opuntia ficus indica</i> (nopal)	Harina de cladodios (0, 5, 10, 15 y 20 %) en pan.	El peso y la dureza del pan aumenta con el incremento del porcentaje de harina y disminuye el volumen.	Ayadi et al., 2009
<i>Opuntia monacantha</i> (nopal)	Harina de cladodios (0, 5, 10 y 15 %) en galletas.	La harina de nopal da un color oscuro en las galletas; disminuye la grasa, aumenta las cenizas y la fibra en las galletas.	Dick et al., 2020
<i>Opuntia xoconostle</i>	Extracto (0, 1, 2, 3, 4 y 5 %) en salchicha.	El extracto de <i>O. xoconostle</i> alarga la vida de anaquel, reduce la oxidación de lípidos e incrementa la dureza y masticabilidad con el incremento del porcentaje de extracto.	Almaráz-Buendía et al., 2019
<i>Opuntia matudae</i> Scheinvar	Cáscara de xoconostle en dulce.	La cáscara de <i>O. matudae</i> imparte sabor ácido logrando su aceptabilidad.	Álvarez-Castro et al., 2014
<i>Opuntia oligacantha</i>	Nanoemulsión (70 % aceite de naranja, 10 % extracto de xoconostle y lecitina de soya 20 %) en aguacate.	El revestimiento del aguacate con una nanoemulsión de aceite con extracto de xoconostle después de la cosecha disminuye la actividad enzimática y retrasa el oscurecimiento y la maduración del fruto.	Cenobio-Galindo et al., 2019a
<i>Opuntia oligacantha</i>	Nanoemulsión (70 % aceite de naranja, 20 % extracto de xoconostle y lecitina de soya 10 %) en queso.	Determinar propiedades fisicoquímicas, funcionales y microbiológicas/disminuye coliformes y mesófilos.	Pérez-soto et al., 2021
<i>Opuntia oligacantha</i> C. F. Först	Extracto (0, 10, 20 y 30 %) en yogurt.	El extracto de xoconostle aporta fenoles totales, flavonoides, betalainas en el yogurt y disminuyen con el tiempo de almacenamiento.	Cenobio-Galindo et al., 2019b
<i>Opuntia ficus-indica</i> L.	<i>Enterococcus faecium</i> o <i>Pediococcus pentosaceus</i> encapsuladas con harina de cáscara de tuna.	Los encapsulados con harina de <i>O. ficus indica</i> disminuyen la oxidación de los lípidos en las salchichas.	Barragán-Martínez et al., 2020

El género *Opuntia* abraza diferentes especies de cactáceas (Morales et al., 2012), dentro de ellas el nopal (*Opuntia spp.*), este crece en las partes áridas de todo el mundo (Cota-Sánchez, 2016) y es endémica en América (Osorio-Esquivel et al., 2012). La mayoría de especies del género *Opuntia* producen frutos dulces y ácidos (Pimienta-Barrios et al., 2008). Los frutos en España se conocen como higo chimbo y en México como tuna (Cota-Sánchez, 2016). En México la tuna tiene diferentes nombres comunes: tuna cardona, tuna cascarona, tuna mansa, tuna tapon y xoconostle “fruto ácido” (Ramírez-Rodríguez et al., 2020). El xoconostle (*Opuntia oligacantha*) es endémico del centro de México y existen diferentes variedades (Hernández-Fuentes et al., 2015). *Opuntia joconostle* “cuaresmeño” se produce principalmente en Puebla, Estado de México, Hidalgo y Guanajuato con aproximadamente 10000 ton por año (Guevara-Lara et al., 2010), otra variedad es *Opuntia matudae* “rosa” (Arias-Rico et al., 2020).

En la figura 2 se muestran las partes del xoconostle, el epicarpio es de aproximadamente de 1-2 mm de grueso, el mesocarpio es la parte comestible de aproximadamente de 1-1.3 cm de grueso, y el endocarpio con semillas usualmente se tiran (Reyes-Agüero et al., 2006, Morales et al., 2012).

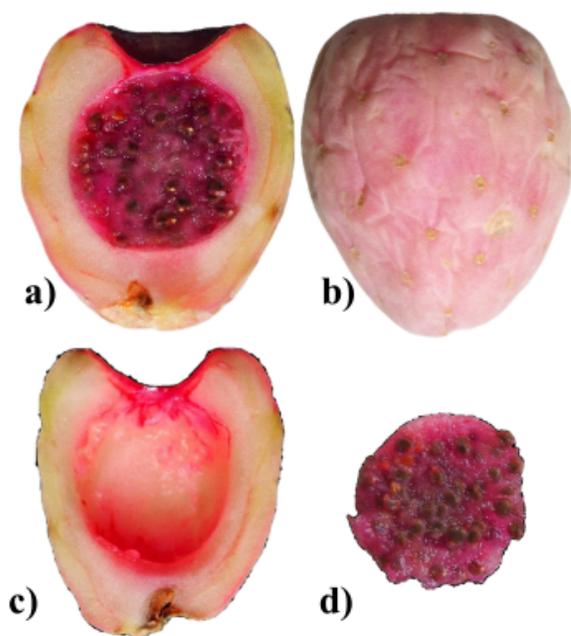


Figura 2. Partes del xoconostle. Anatomía del fruto completo en corte longitudinal (a) y sus estructuras: epicarpio, cáscara (b), mesocarpio, pulpa (c); y endocarpio, semillas y mucílago (d).

2.12.2 Composición química del xoconostle

En la tabla 5 se observa que el componente mayoritario en la cáscara y piel es la fibra dietética, así como lo es la proteína y grasa en la pulpa del xoconostle cuaresmeño (Guzman et al., 2010). La cáscara tiene gran cantidad de compuestos no digestibles “fibra dietética insoluble” (Morales et al., 2012). Sin embargo, la composición química puede variar de acuerdo con las condiciones climáticas y características del suelo (Arias-Rico et al., 2020). El contenido de azúcares solubles (fructosa, glucosa y sacarosa) es bajo (Morales et al., 2012).

Tabla 5. Composición química, compuestos bioactivos y actividad antioxidante de xoconostle cuaresmeño

	Cáscara	Piel	Pulpa
Proteína %	2.38-2.75	1.63-1.78	6.84-8.16
Fibra dietética Total %	18.23-20.37	8.51-10.63	0.93-1.02
Soluble %	6.79-7.94	1.60-3.03	0.30-0.35
Insoluble %	10.63-12.43	6.91-7.60	0.60-0.72
Grasa %	4.51-4.78	5.05-5.28	7.15-8.10
Cenizas %	13.57-14.04	8.27-9.41	1.70-1.95
Carbohidratos %	58.68-61.09	74.41-75.23	81.77-83.28
Compuestos bioactivos			
Ácido gálico	27.9-35.9	3.29-4.73	2.00-2.29
Ácido vanílico	18.0-20.6	7.04-9.20	2.19-2.33
Ácido 4-hidroxibenzoico	6.9-10.2	ND	ND
Catequina	5.26-7.11	0.74-0.98	3.93-4.17
Epicatequina	11.22-12.11	3.30-3.01	1.82-2.16
Vanilina	2.73-3.39	0.86-1.25	1.22-1.52
CA mmol TE/100 g bs	13-16	6-7	2-5
Minerales mg/100 g bs			
Fe	6.0-9.6	1.3-1.6	1.6-1.9
Zn	1.0-1.7	0.5-0.8	1.4-2.4
Ca	2690-3200	1410-1960	480-490
K	3000-3290	2200-2510	200-220
Mg	820-920	510-690	140-190

Rangos en porcentaje en base seca (bs), CA: capacidad antioxidante, TE: equivalentes de Trolox.

En la tabla 6 se menciona la composición química, los compuestos bioactivos más relevantes y actividad antioxidante de las partes del xoconostle cuaresmeño. La semilla es una fuente importante de ácidos grasos poliinsaturados esto lo hace una fuente potencial de aceite dietético (82%). Se reportan dos ácidos grasos saturados en cantidades significantes, el ácido palmítico (C16:0) en pulpa y semilla, y el ácido octanoico (C8:0) en pulpa, pero esta composición puede variar por la disponibilidad del suelo, clima y tiempo de cosecha. Sin embargo, el ácido oleico (C18:1n9c) es representativo en pulpa y semilla (3.68 y 9.72%, respectivamente). El ácido linoleico (C:182n6) se encuentran en pulpa y semilla (32.70 y 72.49%, respectivamente). La proporción de PUFA/SFA es buena (>0.45) esto es interesante porque las dietas ricas en n-6 PUFA y bajas en SFA son cardioprotectoras (Morales et al., 2012).

Tabla 6. Composición de ácidos grasos de xoconostle cuaresmeño (Morales et al., 2012).

Ácidos grasos	Pulpa	Semilla	Ácidos grasos	Pulpa	Semilla
C6:0	nd	0.57 ± 0.03	C18:3n3c	8.64 ± 1.97	0.36 ± 0.01
C8:0	31.35 ± 3.55	0.01 ± 0.00	C20:0	0.25 ± 0.15	0.26 ± 0.01
C10:0	0.16 ± 0.10	0.01 ± 0.00	C20:1	nd	0.07 ± 0.02
C12:0	0.82 ± 0.41	0.09 ± 0.00	C22:0	0.30 ± 0.12	0.19 ± 0.02
C13:0	nd	0.01 ± 0.00	C23:0	0.10 ± 0.08	nd
C14:0	0.84 ± 0.19	0.04 ± 0.00	C22:1n9c	Nd	0.05 ± 0.01
C14:1	nd	nd	C23:0	Nd	nd
C15:0	0.32 ± 0.02	0.01 ± 0.00	C24:0	0.38 ± 0.26	0.09 ± 0.03
C15:1	nd	0.01 0.00	C24:1	Nd	0.02 ± 0.00
C16:0	15.03 ± 1.59	12.35 ± 0.40			
C16:1	0.48 ± 0.06	0.41 ± 0.01	SFA*	54.43 ± 0.92	16.86 ± 0.17
C17:0	2.08 ± 0.12	0.04 ± 0.00	MUFA*	4.16 ± 1.23	10.28 ± 0.03
C18:0	2.81 ± 1.04	3.28 ± 0.18	PUFA*	41.41 ± 0.32	72.85 ± 0.14
C18:1n9c	3.68 ± 1.29	9.72 ± 0.03	PUFA/SFA*	1.28 ± 0.74	4.32 ± 0.05
C18:2n6c	32.70 ± 2.30	72.49 ± 0.13	n-3/n-6	0.20 ± 0.01	0.01 ± 0.00

* porcentaje de ácidos grasos totales, trazas ($\leq 0.005\%$), nd: no detectado. Los resultados son expresados como porcentaje relativo de cada ácido graso. Promedio \pm SD, n=3.

En la tabla 7 se observa un comparativo de los compuestos antioxidantes en la pulpa y semilla de xoconostle cuaresmeño, donde la pulpa tiene gran cantidad de ácido ascórbico (20.63 \pm 0.32 mg/100 peso fresco), los fenólicos totales son mayores en la semilla (50.43 \pm 4.86) que en la pulpa (38.57 \pm 6.87), y la semilla con buen contenido de flavonoides (24.18 \pm 1.69).

Tabla 7. Compuestos antioxidantes de *Opuntia xocconostle* (cuaresmeño) (Morales et al., 2012).

Compuesto antioxidante	Pulpa	Semilla
Ácido ascórbico*	20.63 ± 0.32	nd
Tocoferoles totales*	0.22 ± 0.01	3.23 ± 0.18
α tocoferol*	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
β tocoferol*	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00
γ tocoferol*	0.05 ± 0.00	3.07 ± 0.15
δ tocoferol*	Trazas	0.06 ± 0.01
Fenólicos totales	38.57 ± 6.87	50.43 ± 4.86
Flavonoides totales	3.93 ± 0.19	24.18 ± 1.69

Promedio ± SD, n=3. *Los resultados son expresados como mg/100 g en peso fresco. Los resultados de fenólicos totales son expresados como mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/ g de extracto. Los resultados de flavonoides totales son expresados como mg equivalentes de catequina (CE)/g de extracto. ns: no detectado. Trazas (≤ 0.005 mg/100 g peso fresco).

En la tabla 8 observamos que la actividad antioxidante con DPPH y poder reductor es mayor en la pulpa de xocconostle cuaresmeño que en la semilla, pero no en la técnica de blanqueamiento de β caroteno.

Tabla 8. Propiedades antioxidantes del xocconostle cuaresmeño (Morales-Tapia et al., 2022).

Actividad antioxidante	Pulpa	Semillas
Actividad de eliminación DPPH	5.14 ± 0.20	1.53 ± 0.05
Poder reductor	3.16 ± 0.12	0.27 ± 0.04
Blanqueamiento de β caroteno	0.32 ± 0.02	2.11 ± 0.30

Promedio ± SD, n=3, ns: no detectado. Trazas (≤ 0.005 mg/100 g peso fresco). Los resultados están expresados como mg/mL de extracto.

2.12.3 Propiedades terapéuticas del xocconostle.

El xocconostle por su alto contenido de fibra dietética ayuda a la capacidad de retención de agua, grasa y azúcares en el intestino y estimula la fermentación colónica, y por ello sus propiedades hipocolesterolémicas, hipoglicémicas y antihiperlipidémicas (Osorio-Esquivel et al., 2012), por lo que puede contribuir a la prevención de enfermedades crónicas como diabetes, cáncer y enfermedades cardiovasculares (Roehrig, 1988). Además, el consumo de 100 g de xocconostle fresco puede contribuir al 16% de fibra dietética total y 37% de vitamina C del consumo recomendado (25-30 mg/día y 75-80 mg, respectivamente), con relación a esto el consumo de harina de xocconostle a incrementar el consumo de fibra dietética como ingrediente funcional en los alimentos (Arias-Rico et al., 2020).

En la tabla 9 se mencionan algunos compuestos bioactivos presentes en extractos de xoconostle y sus efectos terapéuticos.

Tabla 9. Efectos terapéuticos de *Opuntia xoconostle*.

	Compuestos bioactivos	Efecto terapéutico	Fuente
Extracto (<i>Opuntia oligacantha</i>)	Flavonoides y ácido hidroxicinámico	Antidiabético	Medina-Pérez et al., 2020
Extracto encapsulado (<i>Opuntia oligacantha</i>)	Compuestos fenólicos	Antibacterial <i>Salmonella typhimurium</i>	Cenobio-Galindo et al., 2019c
Extracto <i>Opuntia joconostle</i>	Fibra soluble	Hipocolesterolémica	Gómez-Maqueo et al., 2020
<i>Opuntia matudae</i> (xoconostle)	----	Antibacterial	Hayek y Ibrahim, 2012
<i>Opuntia joconostle</i>	Calcio, polisacáridos (pectina, mucílago, gomas, celulosa y lignina)	Antidiabético	Paiz et al., 2010

3. JUSTIFICACIÓN.

El snack cárnico al igual que otros productos cárnicos, es alto en grasa (12-40%) y bajo en fibra (0-0.01%), y su consumo tiende a aumentar. Una persona adulta consume aproximadamente 178 g/día de carne, menos del 17% de fibra y más del 50% de energía a través de grasa. Se recomienda consumir menos de 70 g/día de carne, de 25-30 g/día de fibra y menos 30% de energía a través de grasa. Una fuente de fibra es la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo), esta tiene la propiedad de hidratación al absorber agua y grasa simultáneamente modificando la textura de los alimentos, por lo que puede sustituir parcialmente la grasa en los alimentos. En este contexto se propone elaborar un snack cárnico adicionado con fibra de HEOo y así mismo producir un embutido saludable bajo en grasa.

4. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar el efecto de la adición de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (xoconostle Ulapa) en la sustitución parcial de grasa en un snack cárnico para mejorar sus propiedades nutricionales y sensoriales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

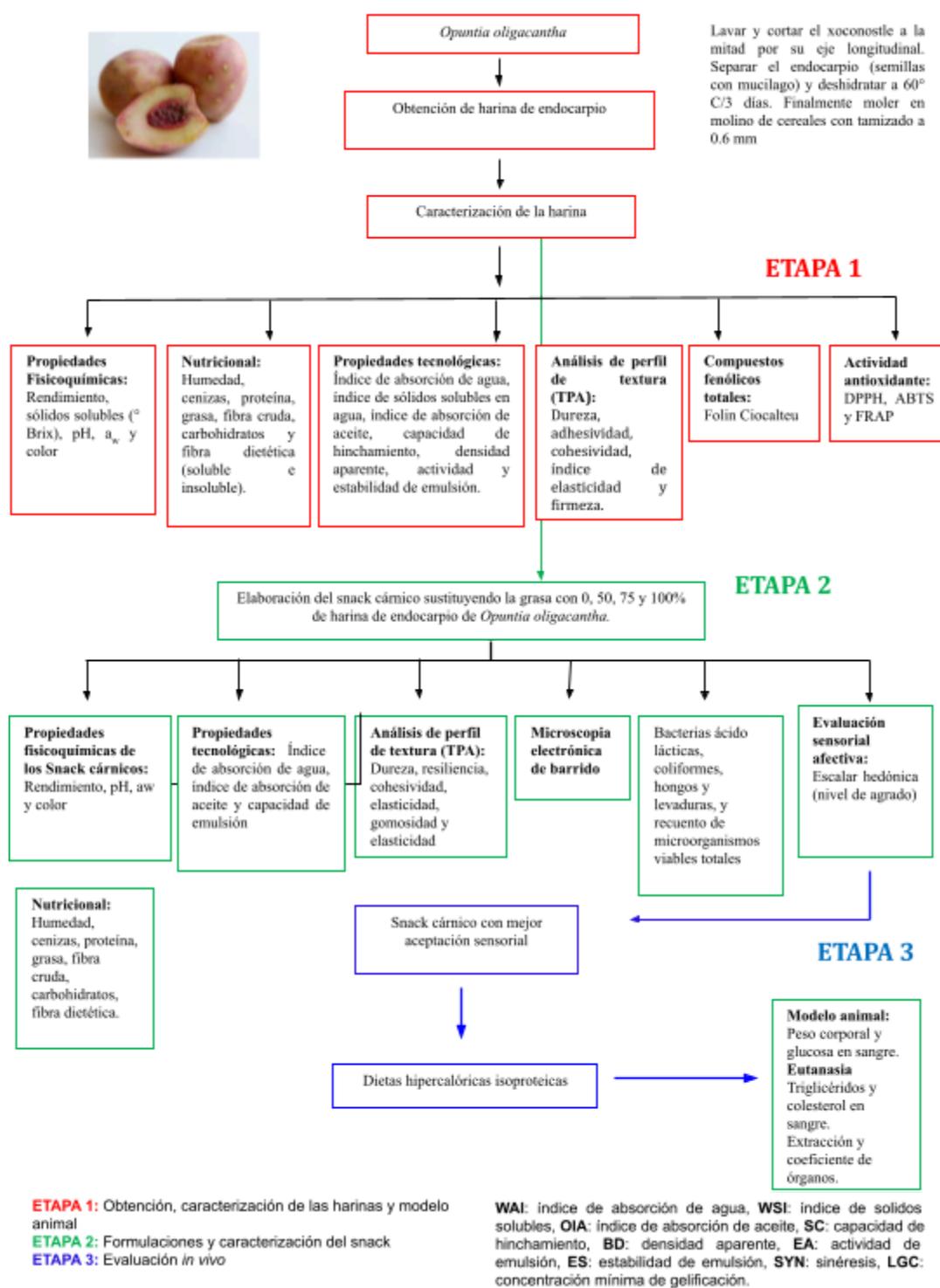
1. Evaluar las propiedades fisicoquímicas y tecnológicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (Xoconostle Ulapa).
 - Determinar el rendimiento, sólidos solubles, pH, aw y color.
 - Determinar la composición nutricional (humedad, cenizas, proteína, grasa, carbohidratos, fibra cruda y fibra dietética).
 - Determinar las propiedades tecnológicas (índice de absorción de agua, índice de sólidos solubles, índice de absorción de aceite, densidad aparente, capacidad de hinchamiento, actividad de emulsión, estabilidad de emulsión y textura).
 - Determinar compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP).
2. Evaluar el efecto de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (xoconostle Ulapa) en diferentes formulaciones y caracterización del snack cárnico.
 - Elaborar formulaciones de snack con cuatro porcentajes de inclusión de harina (0, 7, 14 y 21 %).
 - Evaluar las propiedades fisicoquímicas de los snacks cárnicos como rendimiento, pH, aw y color.
 - Determinar la composición nutricional del snack cárnico como humedad, cenizas, grasa, proteína, fibra cruda y carbohidratos.
 - Medir las propiedades tecnológicas (índice de absorción de agua, capacidad de absorción de aceite y capacidad de emulsión) del snack cárnico.

- Analizar el perfil de textura (TPA) del snack cárnico (dureza, resiliencia, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad).
 - Observar la microestructura por microscopía electrónica de barrido del snack cárnico.
 - Evaluar las propiedades microbiológicas del snack cárnico a través del crecimiento de bacterias ácido lácticas, coliformes, hongos y levaduras, y recuento de microorganismos viables totales.
 - Realizar una evaluación sensorial afectiva del snack cárnico a través de una escala hedónica para conocer el nivel de agrado.
3. Evaluar el efecto de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* y el snack reformulado con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* en un modelo de obesidad en ratas.
- Medir el peso corporal y la glucosa en sangre de los animales.
 - Determinar el perfil lipídico (triglicéridos y colesterol total) en la sangre de los animales de los grupos experimentales.
 - Calcular el porcentaje del coeficiente de los órganos de los animales.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

En la figura 3 representa de manera general que la metodología de se divide en tres etapas. En la etapa 1, se llevó a cabo la obtención y caracterización de las harinas; en la etapa 2, se realizaron las formulaciones de snack con diferentes porcentajes de harina, y la caracterización de los diferentes snacks; y en la etapa 3, se llevó a cabo la evaluación sensorial del producto terminado y la evaluación morfométrica de ratas obesas.

Figura 3. Experimental para desarrollar snack cárnico fermentado, adicionado con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.



5.1 Harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

5.1.1 Obtención de la harina.

En diciembre del 2021 los xoconostles fueron recolectados en la localidad de San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México, ubicado a latitud norte de 20°06'52'', longitud oeste 98°53'12'' y altitud de 2340 msnm. Se seleccionaron de 55-60 kg de fruto, considerando su apariencia visual (tamaño y color) y se limpiaron con hierba para eliminar las espinas. Posteriormente se transportaron al taller de cereales del Instituto de Ciencias Agropecuarias, donde se lavaron con agua y jabón, se eliminó el exceso de agua, después se cortaron por la mitad por su eje longitudinal y se obtuvo el endocarpio (semillas y mucílago junto) para deshidratar parcialmente a temperatura ambiente por 24 horas, posteriormente el endocarpio se deshidrató en estufa (83 L Felisa FE-292D, México) con aire caliente a 60 °C durante 72 h. Posteriormente el endocarpio deshidratado se molió en molino de cereales (WEG Mod MSL1J, México) y se pasó en tamiz (USA Standard Test Sieve, W.S Tyler) de 0.6 mm (figura 4). La harina se almacenó en bolsas de polietileno a temperatura ambiente y protegida de la luz.

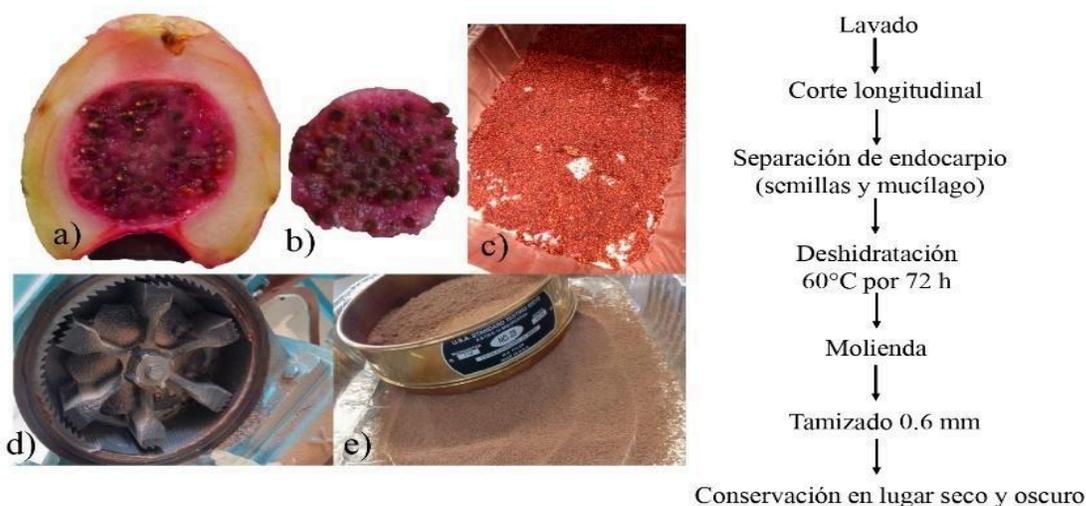


Figura 4. Esquema de la obtención de harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*. (a) corte longitudinal del fruto, (b) separación del endocarpio (15-20% del fruto total), (c) deshidratación del endocarpio, (d) molienda del endocarpio y (e) tamizado de la harina de endocarpio.

5.1.2 Determinación de las propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

El rendimiento de la harina fue expresado como un porcentaje (g/100 g) considerando el peso inicial y la harina seca obtenida en estufa de secado (83 L Felisa FE-292D, México) como lo determina Maray et al., (2018) con la ecuación 1.

$$\text{Ec. 1} \quad \text{Rendimiento g/100 g} = \frac{\text{peso harina deshidratada (g)}}{\text{peso material crudo (g)}} \times 100$$

Medición de los sólidos solubles.

El total de sólidos solubles (°Brix) fueron determinados en el jugo de fruta con refractómetro (Generic Home019, Tokio, Japón) para determinar la madurez del fruto, como lo describen Guzmán-Maldonado et al. (2010).

Determinación del pH.

El valor de pH se determinó en una muestra de 10 g con 100 mL de agua destilada con un potenciómetro digital (Hanna instruments, HI98107, México) previamente calibrado. Las determinaciones se realizaron por triplicado (Guimarães et al., 2020).

Determinación de la actividad del agua.

La actividad de agua (aw) fue determinado por triplicado a 25 ± 1.5 °C usando medidor de actividad de agua (Aqualab Series 4TE, Decagon, Pullman, WA, USA), midiendo la variación de la presión parcial de agua (Dick et al., 2020).

Determinación de color.

El color fue medido con la escala de colores CIELab, usando un colorímetro (Minolta CM-508d Tokio, Japón), configurando el iluminante D65 y ángulo de observación de 10°, donde L* indica luminosidad (L*=0 o 100 indica negro y blanco respectivamente), a* es el eje de la cromaticidad entre verde (-) a rojo (+), y b* el eje entre azul (-) a amarillo (+), como lo describe Arias-Rico et al., (2020).

5.1.3 Determinación de la composición nutricional de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

La determinación de humedad, cenizas, proteína, grasa y fibra cruda se realizaron bajo las recomendaciones de la AOAC (1975), y los carbohidratos se calcularon por diferencia.

La determinación de humedad se realizó por triplicado, con muestras en charolas de aluminio hasta peso constante en estufa (83 L Felisa FE-292D, México) a $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 6 h. El porcentaje de humedad se calculó con la ecuación 2.

$$\text{Ec. 2} \quad \% \text{ humedad} = \left(\frac{P_i - P_f}{m} \right) \times 100$$

Dónde: P_i = Peso de la charola con muestra antes del secado (g); P_f = Peso de la charola con muestra seca (g); m = Peso de la muestra (g).

Las cenizas se determinaron por triplicado en 3 g de muestra en crisoles con previo calentamiento hasta la suspensión de gases, posteriormente se incineraron en mufla a 550°C (Felisa FE-361, México) durante 5 horas, hasta que la materia tenga un color gris y peso constante del crisol. El porcentaje de cenizas se calculó con la ecuación 3.

$$\text{Ec. 3} \quad \% \text{ cenizas} = \left(\frac{P_f - P_o}{m} \right) \times 100$$

Dónde: P_f = Peso del crisol con cenizas (g); P_o = Peso del crisol a peso constante (g); m = Peso de la muestra (g).

La determinación de proteína se calculó por el contenido de nitrógeno por el método de Kjeldahl (digestor Kjeldahl Buchi K-436, Flawil, Suiza) (ecuación 4), el cual se multiplicó por el factor 6.25 y nos dio indirectamente el contenido de proteína cruda. El porcentaje de proteína se consigue con la ecuación 5.

$$\text{Ec. 4} \quad \% \text{ nitrógeno total} = \left(\frac{\text{mL HCl gastados} \times N \text{ del HCl} \times \text{milieq Nitrogeno } 0.014 \times 100}{\text{g de muestra}} \right)$$

Dónde: N del HCl = 0.1304

$$\text{Ec. 5} \quad \% \text{ proteína cruda} = \% \text{ de nitrógeno total} \times \text{factor proteína (6.25)}$$

La determinación de grasa se realizó por triplicado, se colocaron 3 g de muestra libre de humedad en un cartucho de celulosa tapadas con algodón y se colocaron en equipo Soxhlet (Sistema de extracción de grasa Buchi E816-HE, Flawil, Suiza). Por otro lado, un matraz balón con 150 mL de éter de petróleo con calentamiento moderado para extraer la grasa, posteriormente se realiza la extracción del solvente hasta pesos. El porcentaje de grasa se calculó con la ecuación 6.

$$\text{Ec. 6} \quad \% \text{ grasa cruda} = \left(\frac{P_f - P_i}{m} \right) \times 100$$

Dónde: Pf = Peso del matraz con el extracto etéreo (g); Pi = Peso del matraz a peso constante (g); m = Peso de la muestra (g).

La determinación de fibra cruda se realizó por triplicado, un matraz con 3 g de muestra, se adicionaron 200 mL de ácido sulfúrico concentrado, se colocaron en un condensador y se dejaron en ebullición durante 30 minutos, después se dejaron enfriar y posteriormente se filtraron en embudo Buchner con papel filtro, por el método de Van Soest (equipo de fibra cruda Labconco LAC300001-00. EUA). Los filtrados se transfirieron a un matraz con 200 mL de NaOH en ebullición durante 30 min, después de enfriarse se pasó por un crisol de filtración. Los residuos se lavaron con agua hirviendo, seguido de HCl y éter de petróleo. Los crisoles se colocaron en horno a 105 °C durante 12 h y se enfriaron en desecador pesandolos rápidamente. Finalmente, los crisoles se colocaron en una mufla a 550 °C por 3 h y se pesaron nuevamente. Para los cálculos se usó la ecuación 7.

$$\text{Ec. 7} \quad \text{Fibra cruda}\% = 100 \left(\frac{A-B}{C} \right)$$

Dónde: A= peso del crisol con el residuo seco (g); B= peso del crisol con cenizas (g); C= peso de la muestra (g).

La determinación de carbohidratos se realizó por diferencia en porcentaje (100- la suma de humedad, cenizas, proteína, grasa y fibra cruda).

La determinación de fibra dietética total (soluble e insoluble) se realizó por cuantificación gravimétrica enzimática de las fracciones de lignina y otros compuestos asociados con polisacáridos, de acuerdo con el método de la AOAC, 1975 usando un kit TDF 100A de sigma aldrich, USA. 1 g de muestra fue incubado con alfa-amilasa, proteasa y amiloglicosidasa a pH, tiempo y temperatura como lo indica el fabricante.

5.1.4 Determinación de las propiedades tecnológicas de la harina de *Opuntia oligacantha*.

El índice de absorción de agua (WAI) se determinó de acuerdo con el método descrito por Guimarães et al. (2020). Se mezclaron 5 g de muestra con 30 mL de agua destilada en un tubo Falcon para centrífuga de 50 mL previamente pesado. La mezcla se agitó suavemente durante 2 min y se dejó reposar 30 min. Posteriormente la mezcla se centrifugó (centrifuga Hermle Z326K, Labortechnik GmbH, Germany) a 3000 g por 30 min, el sobrenadante fue decantado para determinar WSI. El WAI fue expresado como el peso del gel obtenido después de eliminar el sobrenadante por g de muestra (ecuación 8).

$$\text{Ec. 8} \quad \text{WAI} \left(\frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Peso del sedimento (g)} - \text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

El índice de sólidos solubles en agua (WSI) fue determinado con el sobrenadante decantado de WAI fue depositado en una charola previamente pesada y fue evaporado a 105°C en estufa de secado (83 L Felisa FE-292D, México). El WSI fue expresado como un porcentaje original de los sólidos secos del peso de la muestra (ecuación 9) (Lopera-Cardona et al., 2016).

$$\text{Ec. 9} \quad \text{WSI} (\%) = \frac{\text{Peso de la muestra (g)} - \text{Peso del sedimento seco (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

El índice de absorción de aceite (OAI) fue determinado de acuerdo con el método de Guimarães et al. (2020). 1 g de muestra fue mezclado con 6 mL de aceite vegetal por 60 s en un tubo Falcon de 50 mL graduado previamente pesado. Los tubos con la mezcla se dejaron reposar 30 min a temperatura ambiente, y después se centrifugaron (centrifuga

Hermle Z326K, Labortechnik GmbH, Germany) a 3000 g por 20 min y el volumen del sobrenadante fue medido. El índice de absorción de aceite fue expresado como mL de aceite unido por gramo de muestra en base seca (ecuación 10).

$$\text{Ec. 10} \quad OAI \left(\frac{\text{mL}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Volumen de aceite inicial (mL)} - \text{Volumen de aceite no absorbido (mL)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

La capacidad de hinchamiento (SC) se determinó por el método descrito por Dick et al. (2020) y Lopera-Cardona et al. (2016). Se añadieron 3 g de muestra en una probeta graduada de 50 mL. La probeta fue golpeada suavemente sobre una superficie fija y el volumen fue anotado. 30 mL de agua destilada fueron adicionados y la mezcla estuvo en reposo 60 min, al final del reposo fue anotado el volumen. La capacidad de hinchamiento fue expresada como un múltiplo del volumen original (ecuación 11).

$$\text{Ec. 11} \quad SC \left(\frac{\text{mL}}{\text{g}} \right) = \text{Volumen inicial (mL)} - \text{Volumen después del reposo (mL)}$$

La densidad aparente (BD) se determinó de acuerdo con el método descrito por Dick et al. (2020) y Asouzu et al. (2020). Una probeta graduada de 10 mL previamente tarada, fue llenada hasta la marca de 10 mL con la muestra y fue gentilmente golpeada hasta que el llenado no disminuyó más de 10 mL. La densidad aparente fue expresada como gramos de muestra por unidad de volumen (ecuación 12).

$$\text{Ec. 12} \quad BD \left(\frac{\text{g}}{\text{mL}} \right) = \frac{\text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Volumen final (mL)}}$$

La actividad de emulsión (EA) y estabilidad de emulsión (ES) se determinaron de acuerdo con el método descrito por Kaur y Singh (2005) y Lopera-Cardona et al. (2016). Una suspensión acuosa de harina al 20 % (peso/volumen) en un tubo para centrifuga de 20 mL fue homogeneizada en IKA-Ultra Turrax (T18-S1 digital, Wilmington, EUA) a 1000 g por 30 s. La velocidad fue incrementando hasta 24000 g por 5 min y simultáneamente fue agregado 20 mL de aceite vegetal para conseguir la emulsión. La emulsión se dejó en reposo por 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente fue centrifugada a 3500 g en centrífuga de laboratorio (Hermle Labortechnik, Z326K-66115029). La actividad de emulsión fue expresada como porcentaje de la altura de la capa emulsificada respecto a la altura total (ecuación 13).

$$\text{Ec. 13} \quad EA (\%) = \frac{\text{Altura de la fase emulsificante (cm)}}{\text{Altura total (cm)}} \times 100$$

La emulsión formada fue calentada a 85 ± 3 °C en baño de agua durante 15 min, al final la emulsión se dejó en reposo 30 min a temperatura ambiente, después se midió el volumen de la fase emulsificante y el volumen total. La ES fue expresada como porcentaje de la actividad emulsionante después del calentamiento (ecuación 14).

$$\text{Ec. 14} \quad ES (\%) = \frac{\text{Altura de la fase emulsificante antes del calentamiento (cm)}}{\text{Altura de la fase emulsificante después del calentamiento (cm)}} \times 100$$

El gel se preparó modificando el método de Quintero-García et al. (2021) con suspensiones de harina al 16, 18 y 20% en agua destilada fueron preparadas usando un agitador térmico (Lab Equipment, modelo 85-2, USA) a 37.1°C durante 30 minutos. Las muestras fueron enfriadas en baño de agua fría y vertidas en placas de Petri de 60 x 15 mm almacenadas a 4 ± 2 °C durante 24 h. El análisis de perfil de textura (TPA) del gel de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* fue medido en un texturómetro (Brookfield CT3-4500, España) equipado con una sonda cilíndrica TA35 (diámetro 10 mm, altura 50 mm), con una compresión de 2 ciclos al 50% de su altura original. Las cajas de Petri con muestras de gel 7 mm de grosor fueron colocadas en la placa de soporte, especificando una carga de activación de 0.067 N, velocidad constante de la cruceta a 1 mm/s. De las curvas tiempo-fuerza resultantes se analizaron valores. Se realizaron 3 réplicas por cada muestra.

5.1.5 Determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la harina de *Opuntia oligacantha*.

Preparación de los extractos de la harina.

Los extractos se obtuvieron como lo describe Monteiro et al. (2021) con modificaciones. 1 g de harina fina fue homogenizada con 10 mL de agua, y centrifugada a 5000 x g por 10 min a 4°C (Hettich Mik-ro220R, Tuttlingen, Germany). El sobrenadante fue recolectado, repitiendo el procedimiento tres veces. El sobrenadante fue mezclado y analizado (extracto acuoso).

Determinación de compuestos fenólicos totales.

Los compuestos fenólicos totales se determinaron con el reactivo Folin Ciocalteu como lo describen Monteiro et al. (2021) con modificaciones. 1.580 mL de extracto acuoso y 100 μL de Folin Ciocalteu fueron mezclados, después de 8 minutos se adicionaron 300 μL de carbonato de sodio al 20 %. Las muestras se colocaron en baño de agua a 50 °C por 15 min. La absorbancia fue determinada a $\lambda=765$ nm en un espectrofotómetro (UV-visible Pharma Spec UV-1700 Shimadzu, Kyoto Japón). Los resultados fueron calculados usando una curva estándar y expresada como mg equivalentes de trolox por kg de harina (mg kg^{-1}).

Actividad antioxidante.

La actividad antioxidante fue determinada por método espectrofotométrico. La capacidad de la harina para reducir el radical DPPH \cdot fue medido a $\lambda 517$ nm. La actividad de eliminación del radical ABTS $^+$ fue determinada a $\lambda 734$ nm. El análisis de FRAP fue determinado a $\lambda 593$ nm y expresado en $\text{mM Fe}^{2+} \text{ kg}^{-1}$ de harina (Monteiro et al., 2021). Los resultados de DPPH, ABTS y FRAP fueron expresados como mg equivalentes de Trolox (TEAC) por kg de harina (mg TEAC kg^{-1}).

5.2. Elaboración del snack cárnico.

Se utilizó carne de pierna y recorte de grasa de cerdo adquiridos en la empresa Forrajes y Carnes de Santiago Tulantepec SPR de RL., especias (Unidad integral Complet México CH-096® Pilarica, España), sal común, sal cura, dextrosa (Corporación Fabpsa, México) y bacterias ácido lácticas (Flora Italia LC US SafePro® Chr. Hansen, Dinamarca), los ingredientes se ajustaron según lo indicado en la tabla 10, para la elaboración de los tratamientos.

Tabla 10. Formulaciones de snack cárnicos adicionados con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Concepto	Snack control	Snack 25	Snack 50	Snack 75
Pierna (%)	65.61	65.61	65.61	65.61
HEOo (%)	0	7.00	14.06	21.06
Grasa (%)	28.12	21.06	14.06	7.00
Condimentos (%)	6.34	6.34	6.34	6.34

HEOo: harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*, condimentos (Complet México CH-096® Pilarica España, sal común, sal cura, dextrosa, flora Italia LC US SafePro Chr. Hansen).

En la figura 5, se representa de manera general el proceso de elaboración de los snacks. La carne de pierna y los recortes de grasa en trozos de 5 cm se congelaron durante 24 h. Posteriormente, se molieron en molino de carne (Torrey mod-32, México) con cedazo ¼ de pulgada. Después de esto, se mezclaron manualmente la pierna y grasa con las especias, adicionando la sal común, sal cura, dextrosa y HEOo. El mismo día de la mezcla, se añadieron bacterias ácido lácticas (BAL) a la formulación (0.4 g/1500 g de masa cárnica). Los snacks resultantes se embutieron en envolturas de colágeno calibre 21 (Viscofan, México) con sistema de torcido automático (Handtmann VF 608 Plus, Alemania). La fermentación se llevó a cabo durante 24 h y la maduración se prolongó durante 10-11 días, bajo condiciones controladas de 22-24°C, con una velocidad de aire de 200 m³/h y una humedad relativa de 80-85%, que se controló mediante un humidificador (ultrasonic humidifier, BL-C03ZT, China). Durante la fase de maduración, se pesaron los snacks cada 6 d, y cuando perdieron el 30% de su peso fueron envasados a vacío en bolsas pouch para vacío (Besser vacuum, Querétaro, México) en empacadora al vacío (Multivac C300, Alemania). En la figura 6, se muestra el producto final, que se almacenó en refrigeración a 4 °C hasta su análisis.



Figura 5. Diagrama de flujo de la elaboración del snack cárnico. BAL: *Lactobacillus sakei*, *Staphylococcus carnosus*, *Staphylococcus carnosus* sp.

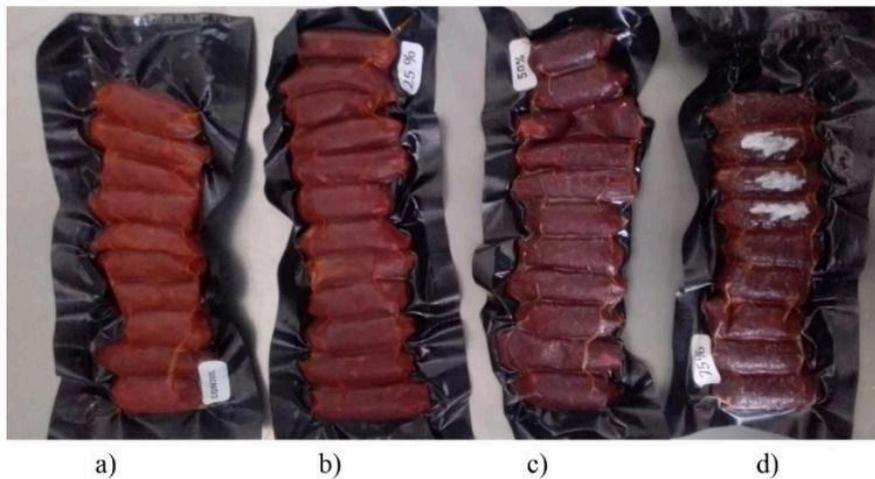


Figura 6. Snacks cárnicos adicionados con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo). (a) control, snack 0% de HEOo y 28.12% de grasa; (b) snack 25, snack con 7% de HEOo y 21.06% de grasa; (c) snack 50, snack con 14.06% de HEOo y 14.06% de grasa; y (d) snack 75, snack con 21.06% de HEOo y 7% de grasa.

5.2.1 Propiedades fisicoquímicas del snack cárnico.

Las muestras de snack cárnico se pesaron el día del embutido (P1) y el día 6 y el día 12 de maduración (P2), la pérdida de peso del snack cárnico fue calculado con la ecuación 15 (Asmare & Admassu, 2013).

$$\text{Ec. 15} \quad \text{Pérdida de peso (\%)} = 100 - \left(\frac{P2 \times 100}{p1} \right)$$

El valor de pH se determinó directamente en una muestra de 10 g con hoja cortante (35 mm FCO99 lot 28961, Hanna instruments, Romania) al electrodo de un medidor portátil de pH para carnes (HI 99163, Hanna instruments, USA). La actividad de agua (a_w) fue determinada con un medidor de actividad de agua (Aqualab Series 4TE, Decagon, Pullman, WA, USA), después del equilibrio a $25 \pm 1.5^\circ\text{C}$ (García-Béjar et al., 2020). La determinación del color de los embutidos se realizó considerando un espacio tridimensional en los ejes L^* , a^* y b^* ; el equipo fue configurado a un ángulo del observador de 10° y un iluminante D65. Se utilizó un colorímetro (Minolta CM-508d Tokio, Japón), configurando el iluminante D65 y ángulo de observación de 10° , Según la descripción de Arias-Rico et al. (2020) y Cerón-Guevara et al. (2020a), L^* representa la luminosidad, donde $L^* = 0$ indica negro y $L^* = 100$ indica blanco. El parámetro a^* corresponde al eje de la cromaticidad que varía de verde (-) a rojo (+), mientras que el parámetro b^* se refiere al eje que va de azul (-) a amarillo (+).

El análisis proximal de los snacks cárnicos fue realizado siguiendo la metodología de la AOAC, (1975) para determinar humedad (925.10), cenizas (923.03), extracto etéreo por Soxhlet (920.39), proteína (N x 6.25) por Kjeldahl (951.03), fibra cruda (985.29) y el contenido de carbohidratos fue calculado por diferencia.

5.2.2 Propiedades tecnológicas del snack cárnico.

Para el índice de absorción de agua (WAI), la capacidad de absorción de aceite (OAC) y la capacidad de emulsión se depositaron muestras de 1-5 g con agua (30 mL) o aceite (6 mL) en un tubo Falcon de 50 mL previamente pesado. Las muestras se agitaron por 1-2 min, posteriormente se dejaron en reposo de 30-40 min a temperatura ambiente e inmediatamente se centrifugaron a 3000-4000 g por 5-30 min. El WAI fue expresado como g de agua absorbida por g de muestra seca (ecuación 16). La capacidad de absorción de aceite fue expresada como g de aceite absorbido por g de producto cárnico en base seca (ecuación 17). La capacidad de emulsión fue definida como la habilidad del sistema cárnico snack para resistir la pérdida de líquidos por la fuerza de centrifugación después de 40 min de reposo, y se expresó en porcentaje (ecuación 18) (Sakai et al., 2021, Kim et al., 2021).

$$\text{Ec. 16} \quad WAI (g/g) = \left(\frac{\text{peso de agua absorbida}}{\text{peso muestra antes de centrifugar}} \right)$$

$$\text{Ec. 17} \quad OAI (\%) = \left(\frac{\text{peso muestra después de centrifugar}}{\text{peso muestra antes de centrifugar}} \right)$$

$$\text{Ec. 18} \quad EC (\%) = \left(\frac{\text{peso muestra después de centrifugar}}{\text{peso muestra antes de centrifugar}} \right) \times 100$$

5.2.3 Análisis del perfil de textura (TPA).

El análisis del perfil de textura se llevó a cabo a temperatura ambiente utilizando un analizador de textura (Texturómetro Stable MicroSystems TA-X-T Plus, Gran Bretaña) y el software Exponent versión 6.1.27.0. Para este análisis, se emplearon muestras de snack cárnico con un diámetro de 15 mm y un grosor de 20 mm, las cuales se colocaron en posición vertical sobre la platina del texturómetro. Estas muestras fueron comprimidas al 30% de su altura original mediante una sonda cilíndrica de aluminio de tipo P/35, con un diámetro de 35 mm. El tiempo de espera entre cada compresión fue de 1 s. Se evaluaron los atributos de dureza (expresada en N), resiliencia, cohesividad, elasticidad, gomosidad (expresada en N) y masticabilidad, siguiendo el método descrito por Novakovic et al. (2021).

5.2.4 Propiedades de microestructura.

Para analizar las propiedades de microestructura del snack cárnico, se tomaron muestras de 2 x 3 x 3 mm de cada snack cárnico, que luego se montaron en un portaobjetos recubierto con una cinta de carbón. Estas muestras se sometieron a un escaneo utilizando un microscopio electrónico de barrido (FEI Quanta 450 MIC-E-001, España), en condiciones ambientales, con un voltaje de aceleración de 15 kV, una presión de 1 Mbar, una distancia de trabajo que osciló entre 9.2 y 10.7 mm, y un tamaño de punto (spot) de 3, siguiendo el procedimiento descrito por Yarmand & Homayouni, (2010).

5.2.5 Análisis microbiológico.

El análisis microbiológico se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la NOM-110-SSA1-1994, con modificaciones basadas en el método propuesto por Aminzare et al. (2022). Se tomaron muestras asépticas de 10 g de snack cárnico, las cuales se diluyeron con 90 mL de agua peptonada al 0.1%. Las muestras se cortaron y homogeneizaron durante 1 min a temperatura ambiente mediante una cortadora de alimentos (Braun UK 40 Multipractic electronic, Alemania), previamente desinfectado con alcohol al 96° y agua destilada (1:1 v/v) durante 24 h. Posteriormente, se prepararon diluciones seriadas decimales utilizando agua peptonada, y se tomaron alícuotas de 0.1 mL de la dilución óptima para sembrar en las placas de agar correspondientes.

Las bacterias ácido lácticas (BAL) se cultivaron en agar Man Rogosa y Sharpe (MRS), las coliformes en agar MacConkey, y los hongos y levaduras en agar dextrosa Sabouraud. El recuento de microorganismos viables totales se realizó en agar para recuentos en placa. Todos los agares se obtuvieron de Becton Dickinson, México. Todas las muestras se incubaron en estufa microbiológica (Aspa, G1110, México), a 37°C durante 72 h, y los resultados de los conteos microbiológicos se expresaron como \log^{10} UFC/g (unidades formadoras de colonias por gramo).

5.2.6 Análisis sensorial.

Se reclutaron 128 consumidores voluntarios (68 mujeres y 60 hombres) con edades comprendidas entre 19 y 59 años como evaluadores en el análisis sensorial. Se proporcionaron 4 muestras codificadas con números aleatorios de 3 dígitos. Estas muestras, se mantuvieron sin cocinar y envasadas al vacío durante 30 d desde su elaboración, se cortaron en trozos de 20 mm de largo y 15 mm de diámetro y se sirvieron en platos de color blanco. Entre cada muestra, se ofreció agua purificada y galletas sin sal (habaneras, Gamesa, México) para limpiar el paladar. Los evaluadores calificaron las siguientes características en una escala hedónica de 5 puntos, donde 1 representaba "me disgusta mucho" y 5 "me gusta mucho": color, olor, sabor y textura (anexo 1).

5.3 Ensayo *in vivo*.

Todas las ratas fueron obtenidas del bioterio del Instituto de Ciencias de la Salud, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, y fueron manejadas de acuerdo a la NOM-062-ZOO, 1999 y la aprobación del comité institucional para el cuidado y uso de animales de laboratorio (CICUAL-V-I/007/2023).

5.3.1 Prueba de toxicidad oral aguda.

Se realizó una prueba de toxicidad aguda de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo) en 5 ratas machos Wistar con un peso promedio de 100 g. Las ratas se marcaron en la base de la cola (del 1 al 5) con marcador indeleble. Las ratas se alimentaron con LabDiet 5008 y tuvieron un ayuno de 12-15 h durante la noche antes de la administración de HEOo. La rata número 5 sólo recibió agua y fue utilizada como control. A las otras 4 ratas se les administraron una dosis gradual por día de harina (5, 50 y 2000 mg/kg de peso) diluida con agua en biberón. Se pesaron las ratas antes de iniciar la prueba de toxicidad (día 0), y después de la prueba en la semana 1 (día 7) y en la semana 2 (día 14). Se observaron 14 días posteriores a la última administración su conducta y signología de acuerdo a la escala de Grimace.

5.3.2. Dietas adicionadas con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo) para ratas.

La HEOo se obtuvo de acuerdo con lo descrito en la sección 5.1.1.; la manteca, pasta de soya, cacahuete, harina de carne y melaza de caña se compraron en el mercado local agropecuario, nopal en polvo (Aroma natural®, México), DieLab 5008, (EUA), snack control y snack 25 se elaboraron en el taller de cárnicos del Instituto de Ciencias Agropecuarias UAEH.

Los pellets fueron elaborados en una embutidora manual de acero inoxidable (Dick D-73728, 15 Ltr. Germany) de acuerdo con la formulación de la tabla 11, calculada por el método de sustitución en Excel y elaborar un esquema de alimentación (tabla 12). Posteriormente fueron deshidratados en estufa de secado (83 L Felisa FE-292D, México) por 36 h a 30°C solo las dietas M1, M2, M3, M4 Y M5 y se conservaron en un lugar seco.

Los alimentos H1, H2, H3, H4 y H5 se realizaron de forma manual debido a que tecnológicamente no se forma el pellet por la alta cantidad de grasa y se conservaron en refrigeración.

Tabla 11. Formulación de las dietas experimentales de mantenimiento e hipercalóricas para ratas.

Ingredientes	Pellets de mantenimiento 3.8 Mcal/kg					Pellets hipercalóricos 4.9 Mcal/kg				
	M1 (%)	M2 (%)	M3 (%)	M4 (%)	M5 (%)	H1 (%)	H2 (%)	H3 (%)	H4 (%)	H5 %
Melaza de caña	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Manteca	3	--	3	--	17.5	29.7	25	30	25	30.5
Formulab Diet 5008	89.5	79.5	82.8	78	32.3	35	10	9	10.5	1.6
Pasta de soya	5.5	3.5	8.8	5	18.2	11.3	11	11	11.5	11
Snack control	--	15	--	--	--	--	15	--	--	--
Harina de nopal	--	--	3.4	--	--	--	--	3.4	--	--
Snack 25	--	--	--	15	--	--	--	--	15	--
Harina de carne	--	--	--	--	15	15	--	4.9	--	4.9
HEOo	--	--	--	--	15	--	--	--	--	15
Harina de cacahuate	--	--	--	--	--	7	26.5	28.8	26.5	30.5
Sacarosa	--	--	--	--	--	--	10.5	10.9	9.5	4.5
Agua	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

HEOo: harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*; LabDiet® alimento comercial de mantenimiento.

Tabla 12. Esquema de alimentación de las ratas.

Grupos	Características
M1	DM
M2	DM + Snack sin HEOo
M3	DM + Harina de nopal
M4	DM + Snack 25
M5	DM + HEOo
H1	DH
H2	DH + Snack sin HEOo
H3	DH + Harina de nopal
H4	DH + Snack 25
H5	DH + HEOo

DM: Dieta de mantenimiento; DH: Dieta hipercalórica; HEOo: Harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*; Snack 25: Snack con 7% de HEOo y 21.06% de grasa.

5.3.3. Medición del peso corporal y glucosa capilar.

El peso corporal y la medición de glucosa se realizó cada 15 días, durante 42 días, después del periodo de adaptación a la dieta. La glucosa se determinó con un medidor de glucosa (Gmate® wheel DL, Philosys Co., Ltd. Corea) en 1-2 μ L de sangre colectada de la base de la cola de la rata (Moreira et al., 2017).

5.3.4. Eutanasia y análisis del plasma sanguíneo.

Al final de experimento las ratas tuvieron 12 h de ayuno, fueron sedadas con xilazina (100 mg/Kg) por vía intramuscular y anestesiados con pentobarbital (60 mg/Kg) por vía intraperitoneal como lo recomienda Henriques et al. (2010). Una muestra sanguínea (2 mL) fue tomada directamente por exanguinación al momento de la decapitación en tubo amarillo con gel separador (BD Microtainer, México). Las muestras se transportaron con gel refrigerante para ser centrifugadas para obtener plasma con EDTA y se determinó glucosa, colesterol total y triglicéridos al final del estudio con fotometría automatizada. Las muestras de sangre se centrifugaron a 3000 g por 15 min para obtener suero y se determinó la concentración de triglicéridos y colesterol, usando un kit comercial (LaborLab® Photocolorimetric kits, MG, Brazil), como lo describe Moreira et al. (2017) y Su et al. (2018).

5.3.5. Longitud de la cola, circunferencia de la cintura y coeficiente de órganos.

Inmediatamente después del sacrificio la longitud de la cola fue medida desde el margen anal hasta la punta (Ahmad et al., 1993). La circunferencia de la cintura fue medida; el hígado, riñones, corazón y testículos fueron removidos para determinar el coeficiente de órganos peso según el método de Su et al. (2018) y se conservaron en formol al 10%. El coeficiente de órganos fue definido como el peso total del órgano dividido entre el peso de la rata y fue expresado en porcentaje.

5.4 Análisis de datos.

Los datos se analizaron por medio de estadística descriptiva, donde los parámetros de caracterización de HEOo para cada prueba (n=3 o n=10) fueron expresados como la media \pm desviación estándar, seguido de una prueba de Tukey con un error alfa del 5% ($p < 0.05$), utilizando el Programa Statgraphics Centurion XVI 16.1.03 (32 bits) (2009).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

En la figura 7 se observa el xoconostle limpio, deshidratado a 60 °C por 72 h y obtención de la harina.



Figura 7. Obtención de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*. a) fruto completo, b) deshidratación del endocarpio y c) harina molida.

Las propiedades fisicoquímicas de HEOo son presentadas en la tabla 13. El rendimiento obtenido en este trabajo para la HEOo fue de 24.24 ± 0.20 %, más alto que el rango de 12-18 % reportado para la harina de endocarpio de *Opuntia matudae* (Guzmán-Maldonado et al., 2010). Las diferencias en el rendimiento de harina pueden ser porque *O. oligacantha* se deshidrató con aire caliente y *O. matudae* con liofilización. Morales-Tapia et al. (2022) han demostrado que el secado de harina por liofilizado tiene menor rendimiento que el secado por aire caliente; ya que en liofilización ocurre la sublimación del agua (sólido-gas) causando mayor pérdida de agua que en el secado por aire caliente y finalmente la cantidad de agua en la harina después del secado influye en el rendimiento (Guimarães et al., 2020). Además, al perderse más agua en el secado por liofilizado también pueden perderse sólidos hidrosolubles que favorecen un bajo rendimiento (Maray et al., 2018).

Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

	<i>Opuntia oligacantha</i>	Otras cactáceas
Rendimiento (%)	24.20 ± 0.20	12-18 ± 1-2 ¹
°Brix	6.00 ± 0.00	5.36 ± 0.11 ²
pH	4.13 ± 0.05	5.58 ³
aw	0.31 ± 0.00	0.37 ± 0.00 ⁴

¹*Opuntia matudae* (Guzmán-Maldonado et al., 2010), ²*Opuntia oligacantha* (Hernández-Fuentes et al., 2015), ³*Opuntia ficus indica* (Batu et al., 2018), ⁴*Opuntia monacantha* (Dick et al., 2020). Los resultados son expresados como promedio ± desviación externa, excepto el valor de pH para *Opuntia ficus indica*.

El pH de la HEOo (4.13 ± 0.05) fue más bajo que el obtenido para la harina de tuna de *Opuntia ficus indica* (5.58) reportado por Batu et al. (2018). El pH ácido de la harina previene el crecimiento de microorganismos; esto favorece la inocuidad de los productos. Las diferencias de pH se deben a que normalmente los xoconostles son más ácidos que las tunas, por la presencia de ácidos orgánicos como málico, cítrico y oxálico; pero también influye el lugar de cosecha y el grado de madurez del fruto (Hernández-Fuentes et al., 2015; Ayadi et al., 2009; Fernández-Luqueño et al., 2021). Los valores de grados Brix son un indicativo del grado de madurez de los frutos. En este sentido, la HEOo mostró un valor de 6.0 ± 0.00 °Brix, lo cual indica que se obtuvo de un fruto maduro. Este resultado concuerda con los valores de sólidos solubles totales que presentan las especies de *Opuntia spp.* (xoconostles), los cuales oscilan entre 1.10 -1.35 °Brix y 4.28-6.12 °Brix para frutos inmaduros y maduros, respectivamente (Guzmán-Maldonado et al., 2010; Hernández-Fuentes et al., 2015).

La HEOo mostró una aw (0.31 ± 0.00) más baja que la reportada para *Opuntia monacantha* (0.37 ± 0.00) (Dick et al., 2020). Independientemente de la especie, las diferencias entre los valores de nuestro estudio y lo reportado para *O. monacantha* puede fundamentarse en que ambas fuentes botánicas se deshidrataron a diferentes condiciones temperatura/tiempo (60 °C/36 h y 45 °C/16 h, respectivamente) para la obtención de la harina. La aw es un parámetro clave para la conservación de las harinas. Pese a las diferencias, se ha reportado que un valor de aw inferior a 0.5 disminuye el desarrollo de microorganismos patógenos y daño físico químico en harinas, aumentando su vida útil (Dick et al., 2020; Morales-Tapia et al., 2022).

En la figura 8 se observan los resultados de color obtenidos para HEOo. La HEOo mostró una luminosidad ($L^* = 53.67 \pm 0.71$) mayor que la reportada para las harinas de *Opuntia joconostle* y *Opuntia matudae* ($L^* = 33.5 \pm 0.1$ y 22.4 ± 0.0 , respectivamente). La intensidad del rojo (a^*) en la HEOo (10.00 ± 0.31) fue similar a la reportada para una para harina de *O. matudae* ($a^* = 10.4 \pm 0.0$), pero mayor que la de la harina de *O. joconostle* ($a^* = 5.3 \pm 0.0$). La intensidad del amarillo (b^*) para HEOo fue de 14.55 ± 1.27 ; dicho valor fue similar al obtenido para la harina de *O. joconostle* (14.0 ± 0.0) pero mayor que el de la harina de *O. matudae* (9.6 ± 0.0) (Arias-Rico et al., 2020). Cabe mencionar que la harina de este estudio fue la fracción del endocarpio, mientras que Arias-Rico et al. (2020) evaluaron harinas de xoconostles completos (epicarpio, mesocarpio y endocarpio). Se ha reportado que el color de las harinas del xoconostle no depende de la parte del fruto que se utilice para su obtención; si no del contenido de las betalaínas (betacianinas y betaxantinas que confieren colores rojo-morado y amarillo-naranja, respectivamente) (Medina-Pérez et al., 2020). En este sentido, Medina-Pérez et al. (2021) reportaron que el endocarpio de *Opuntia oligacantha* tiene 3 veces más betalaínas que el epicarpio y mesocarpio. En este estudio la HEOo con un valor de b^* mayor que a^* , indica que hay mayor contenido de betaxantinas que betacianinas, más un valor de luminosidad intermedio, resulta una harina de color rojo-marrón (Fig. 9).

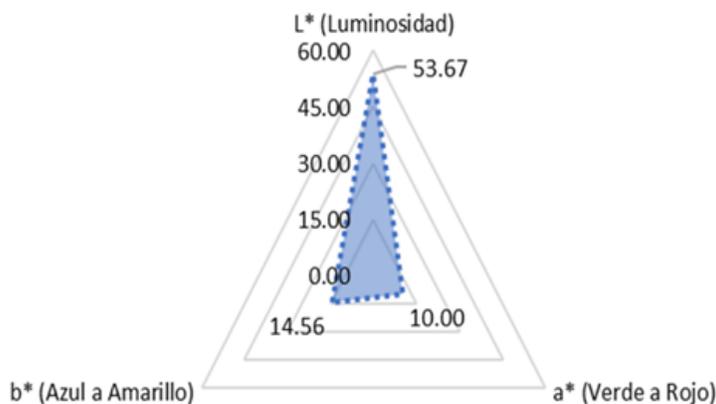


Figura 8. Parámetros de color L , a , b en la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*. Los resultados son expresados como promedio \pm desviación estándar de 3 réplicas.



Figura 9. Harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

6.2 Composición nutricional de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

La figura 10 muestra los valores de la composición nutricional obtenidos para la HEOo. La composición nutricional de las harinas es muy variada, depende de la especie (De Andrade et al., 2021), variedad genética (Keyata et al., 2020), lugar de cultivo, condiciones del suelo, temporada de recolección del fruto (Guzmán-Maldonado et al., 2010), tamaño de partícula, tiempo y temperatura de secado de la harina (Soto et al., 2012).

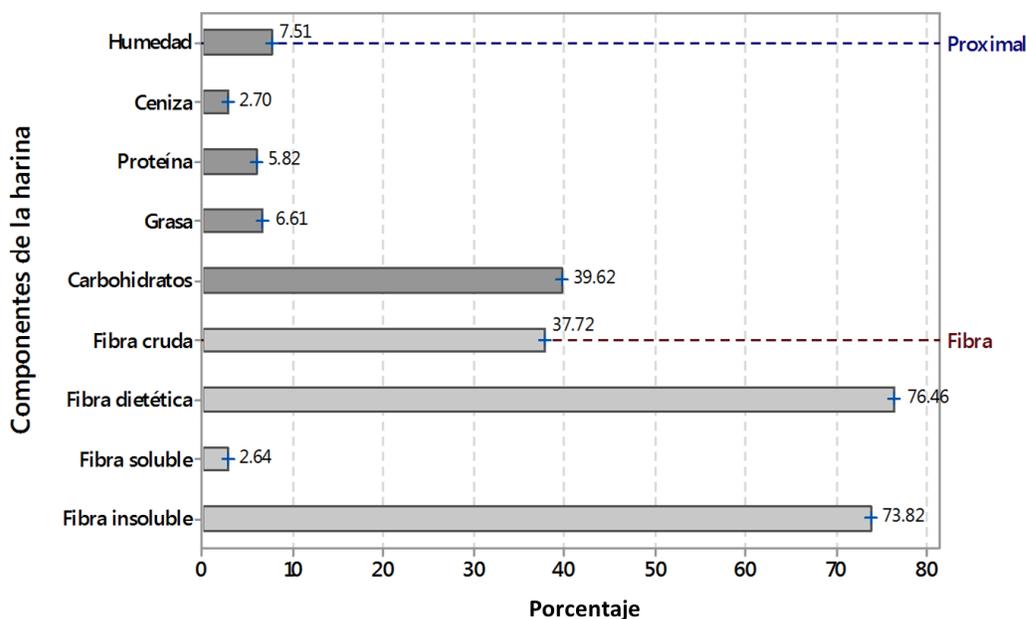


Figura 10. Composición nutricional de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo). Los resultados son expresados como promedios \pm desviación estándar de 3 réplicas.

La HEOo mostró un contenido de humedad de 7.51 ± 0.22 %. Arias-Rico et al. (2020), reportaron valores de humedad del 7.2 y 8.2 % para las harinas de *O. joconostle* y *O. matudae*, respectivamente; mientras que Dick et al. (2020) encontraron que el contenido de humedad para la harina de *O. monacantha* fue de 5.13 %. Los porcentajes de humedad anteriores están por debajo del 10 %, esto asegura la estabilidad de la harina durante su almacenamiento (Bianco et al., 2014), ya que la reducción del porcentaje de humedad reduce el crecimiento bacteriano (Du et al., 2019); por lo que si se usa como ingrediente en los alimentos puede favorecer la vida de anaquel (Guimarães et al., 2020).

Por otra parte, la (HEOo) tuvo un contenido de cenizas de 2.85 ± 0.12 %, proteína de 6.29 ± 0.01 % y grasa de 6.61 ± 0.04 %; los cuales fueron similares a los contenidos de ceniza (1.95 ± 0.08 %), proteína (6.84 ± 0.22 %) y grasa (7.15 ± 0.23 %) obtenidos para una harina de endocarpio de *O. matudae*. Estas diferencias pueden atribuirse a que son especies diferentes colectadas en ubicaciones geográficas diferentes; ya que los frutos de *O. matudae* se obtuvieron de los estados de México, Puebla y Guanajuato; mientras que los de *O. oligacantha* fueron colectados en el estado de Hidalgo (Guzmán-Maldonado et al., 2010).

El contenido de carbohidratos en (HEOo) fue de 39.00 ± 1.59 % más bajo que el reportado para una harina de endocarpio de *O. matudae* (81.77 %) (Guzmán-Maldonado et al., 2010). Se ha reportado que el 75 % del endocarpio está conformado por mucílago (Morales et al., 2014) y que el contenido de carbohidratos en estos depende del grado de madurez de los frutos, así frutos inmaduros poseen mayor contenido de mucílago y por ende mayor contenido de carbohidratos necesarios para su desarrollo (Dantas et al., 2021).

La fibra dietética total es la suma de las fracciones solubles (gomas, pectina y mucílago) e insolubles (celulosa, hemicelulosa y lignina). Estas fracciones de la fibra dietética pueden variar de acuerdo con la estación del año en que se cosechó el fruto. En invierno (temporada seca) las cactáceas tienden a formar más fibra insoluble en su pared celular que sirve como barrera para evitar la pérdida de agua (Ventura-Aguilar et al., 2017). En este contexto nosotros cosechamos nuestro fruto en diciembre, razón por la cual la HEOo es alta en fibra dietética total, insoluble y soluble con valores de 76.46 ± 1.25 ; 73.82 ± 1.19 y 2.64 ± 0.06 %, respectivamente; comparado con la harina de endocarpio de *O. matudae* (1.02 ± 0.04 , 0.72 ± 0.10 y 0.30 ± 0.04 %, respectivamente) (Guzmán-Maldonado et al., 2010). En general la fibra dietética es importante porque promueve efectos fisiológicos benéficos como laxante, anticolesterolémico, antihiperglucemiante y tiene efecto prebiótico al mejorar el crecimiento de la flora bacteriana en el intestino grueso (Bodner & Sieg, 2009); además mejora la textura y la calidad de los alimentos (Das et al., 2020). Asimismo, la fibra dietética insoluble puede evitar la pérdida de grasa de los alimentos gracias a su afinidad lipofílica, lo cual es importante en la palatabilidad (Bodner & Sieg, 2009), ya que mejora la elasticidad y suavidad en productos alimenticios como los de panadería (Zhu et al., 2020); además, tiene efecto en la regulación intestinal y reduce el riesgo de padecer cáncer de próstata (Merenkova et al., 2020).

6.3 Propiedades tecnológicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Las propiedades tecnológicas de HEOo se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Propiedades tecnológicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Propiedades	HEOo
Índice de absorción de agua (WAI) g H ₂ O/g	1.648 ± 0.06
Índice de solubilidad en agua (WSI) %	21.827 ± 2.99
Índice de absorción de aceite (OAI) mL/g	0.149 ± 0.21
Capacidad de hinchamiento (mL/g)	1.866 ± 0.11
Densidad aparente (g/mL)	0.688 ± 0.00
Actividad de emulsión (%)	65.12 ± 1.03
Estabilidad de emulsión (%)	99.42 ± 0.99

Los resultados son expresados como promedio ± desviación estándar de 3 réplicas.

La HEOo tuvo un índice de absorción de agua (WAI) de 1.648 ± 0.05 gH₂O/g materia seca; este valor fue más bajo que el obtenido para los frutos completos de *O. joconostle* y *O. matudae* (6.0 ± 0.1 y 5.5 ± 0.2 gH₂O/g materia seca, respectivamente) (Arias-Rico et al., 2020) y los nopales de *O. ficus indica*, *O. inermis* y *O. monacantha* (6.85 ± 0.03 , 3.15 ± 0.01 y 7.03 gH₂O/g materia seca, respectivamente) (Ayadi et al., 2009; Dick et al., 2020). Estas diferencias de WAI entre cactáceas puede deberse a las especies (Dick et al., 2020) y al contenido de fibra soluble en la harina, ya que este tipo de fibra se ha descrito como la encargada de la absorción de agua (Asouzu et al., 2020); por lo que el valor bajo de WAI presente en HEOo, puede ser debido al bajo contenido de fibra soluble (2.64 ± 0.06 %), cuando las demás especies reportadas mostraron valores superiores a 5.8 ± 0.4 % de fibra soluble.

El índice de solubilidad en agua (WSI) obtenido en este trabajo para la HEOo fue de 21.827 ± 2.99 %; más alto que el 5.23 ± 0.02 % descrito para harina de *O. ficus indica* (Ayadi et al., 2009). El alto valor de WSI en la HEOo se debe a que posee más sólidos solubles (compuestos hidrofílicos) como glucosa, fructosa y sacarosa que la harina de *O. ficus indica* (Morales et al., 2012; 2014; 2015; Ayadi et al., 2009).

Por otra parte, la HEOo presentó un valor de índice de absorción de aceite (OAI) de 0.149 ± 0.21 mL de aceite/g materia seca, este valor fue menor que los reportados para harinas de *O. ficus indica*, *O. inermis*, *O. monacantha*, *O. joconostle* y *O. matudae* (1.29 ± 0.01 , 1.31 ± 0.01 , 1.26 , 6.1 ± 0.3 y 3.4 ± 0.2 g de aceite/g materia seca, respectivamente) (Ayadi et al., 2009; Dick et al., 2020; Arias-Rico et al., 2020). El bajo contenido de OAI en la HEOo se debe probablemente a que el endocarpio tiene un contenido bajo de compuestos lipofílicos (ácidos grasos y tocoferoles), comparado con la cáscara o fruto completo (Arias-Rico et al., 2020; Morales et al., 2015; Morales et al., 2012). El OAI alto en los alimentos es recomendable para prevenir la pérdida de grasa durante el procesamiento y favorecer la palatabilidad, además de aumentar la excreción de grasa en el intestino (Fernandez, 2007). En este caso la HEOo, con un valor bajo de OAI, puede ser recomendada para el desarrollo de productos saludables bajos en grasa y destinados a la población con baja tolerancia a la palatabilidad grasa en los alimentos (Amaya-Cruz et al., 2018).

Otros aspectos tecnológicos importantes para considerar en una harina son su capacidad de hinchamiento (SC) y la densidad aparente (BD). Con respecto a la SC, la HEOo mostró un valor de 1.866 ± 0.01 mL/g, el cual fue más bajo que el de la harina de *O. monacantha* (17.49 mL/g) (Dick et al., 2020). El bajo valor de SC en esta investigación es probablemente por el bajo valor de WAI mostrado por la HEOo, ya que la SC es un indicador del WAI, ambos relacionados con la absorción de agua (Nagarani et al., 2014). Por otro lado, la HEOo tuvo una densidad aparente (BD) alta de 0.688 g/mL, similar a la obtenida para la harina de *O. ficus indica* (0.647 - 0.703 g/mL) (Ayadi et al., 2009). Los valores altos de BD indican que los espacios entre las partículas son pequeños y presentan buena compresibilidad, esto permite describir las características de empaquetamiento de la harina (Kalegowda et al., 2017; Du et al., 2019).

La actividad (EC) y estabilidad de emulsión (ES) obtenidas para la HEOo fueron de 65.12 ± 1.03 y 99.42 ± 0.99 %, respectivamente. Dichos valores son más altos que los observados para la harina de *Opuntia dillenii* (EC= 55 - 65 %, ES= 40 - 50 %) (Kalegowda et al., 2017). Aunque en este trabajo no se reporta el rendimiento del mucílago del xoconostle *O. oligacantha*; Morales et al. (2014) reportaron que el xoconostle *O. joconostle* tiene el doble de mucílago que *O. dillenii* reportado por Kalegowda et al. (2017), estos últimos autores

encontraron que a mayor cantidad de mucílago (0.1-1 %), aumenta proporcionalmente la EC y ES. En relación con esto la literatura menciona que los mucílagos de las cactáceas son ricos en carbohidratos y que actúan como estabilizadores de espumas y emulsiones (De Andrade et al., 2021). Por otro lado, la HEOo tiene 10 veces más proteína que *O. dillenii* reportada por Medina et al. (2007). La proteína es indispensable en la actividad de emulsión, porque actúa como surfactante, es decir puede unir dos líquidos inmiscibles. La EC es importante porque nos indica la solubilización o dispersión de las moléculas en la emulsión; y la ES es la habilidad para que se mantenga la emulsión en resistencia a la ruptura por golpes mecánicos o gravedad durante el tiempo (Du et al., 2021).

Los resultados de TPA de la HEOo se reportan en la tabla 15. De forma general se observan que los valores de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad y dureza aumentan del 16 al 18%, pero disminuyen al 20% posiblemente a esta concentración de harina ya no hay interacción de los puentes de Van der Waals (Quintero-García et al., 2021). Los investigadores anteriores midieron la textura de la harina de mucílago de *O. ficus indica* y han reportado valores menores (11.29 ± 0.04 g, 0.72 ± 0.01 y 0.63 ± 0.01) para dureza, cohesividad y elasticidad respectivamente; y un valor de adhesividad mayor (3.21 J) que los reportados en nuestra investigación. Normalmente a mayor dureza y firmeza, el gel es menos pegajoso disminuyendo la adhesividad porque es menor la fuerza de atracción entre la superficie de la muestra y la superficie de la sonda del texturómetro (Talens Oliag, 2017). Acevedo et al. (2013) mencionan que los parámetros de textura dependen de la composición de la harina (proteína) y fibra soluble (mucílago) que aumentan la viscosidad (Diego-Zarate et al. 2021). Bernardino-Nicanor et al., 2021 han reportado que hay una interacción intermolecular entre los polisacáridos aniónicos (L-arabinosa, D-galactosa, y D-xilosa ácido galacturónico) del mucílago de *Opuntia robusta* y las proteínas de los alimentos.

Tabla 15. Propiedades de textura de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Suspensión (%)	Dureza (g)	Adhesividad (J)	Cohesividad	Índice de elasticidad	Firmeza
16	132.00 ± 37.42 ^a	0.0015 ± 0.00 ^a	1.0550 ± 0.04 ^c	1.5100 ± 0.16 ^b	1.0943 ± 0.05 ^b
18	240.17 ± 18.00 ^a	0.0045 ± 0.00 ^c	0.9767 ± 0.01 ^b	1.5067 ± 0.05 ^b	2.2987 ± 0.14 ^c
20	1134.48 ± 101.16 ^b	0.0025 ± 0.00 ^b	0.0400 ± 0.00 ^a	0.1750 ± 0.02 ^a	0.3775 ± 0.07 ^a

Los resultados son expresados como promedio ± desviación estándar de 3 réplicas. Diferentes letras en superíndice indican diferencia estadística significativa entre las dispersiones.

En la tabla 16 se observan los parámetros relacionados a la capacidad antioxidante de la harina de endocarpio de *O. oligacantha* (HEOo). La prueba de radicales libres de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) y la prueba de reducción férrica de poder antioxidante (FRAP). Estos métodos permiten medir la capacidad de los compuestos antioxidantes presentes en una muestra para neutralizar radicales libres o reducir agentes oxidantes. La prueba de ABTS. Es aplicado a sistemas antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos; mientras que DPPH⁺ utiliza un radical disuelto en medios orgánicos y por lo tanto es aplicable a sistemas hidrófobos (Floegel et al., 2011).

Tabla 16. Determinación de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Propiedades	HEOo
Compuestos fenólicos totales	4.93 ± 0.08
DPPH (2,2 Difenil picrilhidrazilo)	51.97 ± 0.30
ABTS (2,2'-azinobis- (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonato de amonio))	53.32 ± 2.68
FRAP (Poder de reducción antioxidante del ion férrico)	40.75 ± 0.63

Los valores son expresados como promedio ± desviación estándar de 3 repeticiones. Los resultados de los compuestos fenólicos totales son expresados en mg GAE/100 g bs. Los resultados de DPPH, ABTS y FRAP son expresados en mmol de Trolox.

Podemos observar que la HEOo posee un contenido de compuestos mucho mayor que el reportado para la harina de endocarpio de *O. joconostle* y *O. matudae* (4.93 ± 0.08, 0.11 ± 0.01 y 0.05 ± 0.01 mg de ácido gálico equivalentes (GAE)/g de extracto, respectivamente) (Morales et al., 2014; 2015). La HEOo presentó un valor de inhibición del radical DPPH De 51.97 ± 0.30 mmol equivalentes de Trolox (TE)/100 g de extracto; ABTS⁺ de 53.32 ± 2.68 mmol TE/100 g de extracto; mientras que en FRAP se obtuvo 40.75 ± 0.63 mmol TE/100 g de extracto. Dichos valores fueron mayores a los obtenidos para extractos de endocarpio de *O. joconostle* (DPPH = 6.20 ± 0.32 mmol ET/100 g, ABTS⁺= 8.51 ± 0.82

mmol TE/100 g, y FRAP= 9.87 ± 0.15 mmol TE/100 g) (Dávila-Hernández et al., 2019). De manera general las diferencias en la cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante, puede ser gracias al genotipo, especie o cultivar e incluso las condiciones de crecimiento del xoconostle (Hernández-Fuentes et al., 2015); pero las diferencias también son porque Morales et al. (2014; 2015) analizaron endocarpio sin semillas, y en relación a esto Morales et al., (2012) estudiaron *O. matudae* y encontraron que las semillas son la parte del endocarpio particularmente altas en compuestos fenólicos como glucósido de ácido ferúlico, *O*-di-deoxihexosil-hexosido de quercetina, *O*-di-deoxihexosil-hexosido de kaempferol, 3-*O*-rutinósido de quercetina, 3-*O*-rutinósido de kaempferol (Morales et al., 2014), y betalaínas como betanina, isobetanina, 2-descarboxi-betanina y 2-descarboxi-isobetanina reportados por Morales et al. (2014; 2015). Los compuestos fenólicos son antioxidantes naturales que alargan la vida de anaquel de los alimentos y pueden prevenir enfermedades crónicas en el consumidor (Pimiento et al., 2023).

6.4 Snack cárnico adicionado con harina de *Opuntia oligacantha*.

En la figura 11 se presenta la pérdida de peso de los diferentes tratamientos del snack cárnico incluyendo al que se le ha añadido HEOo. Diversos estudios previos han abordado el tema del rendimiento en productos similares. Ocampo-Olalde et al. (2015) informaron que el aumento en la concentración de harina de cáscara de tuna de *O. ficus indica* (2.5% y 5%) en salchichas conlleva a una disminución en su rendimiento. En contraste, Jeong & Han (2019) reportaron un rango más amplio (1-10%) de harina de tuna de *O. humifusa f. jeollaensis* adicionada a salchichas y encontraron que el rendimiento aumentaba con el aumento de la harina, ya que los ingredientes vegetales tienen la capacidad de retener agua en el sistema cárnico, como señalan Eisinaite et al. (2016).

En nuestro estudio, evaluamos un rango aún mayor (7-21%) de HEOo en el snack cárnico y se observó que el rendimiento del producto no se ve afectado. Es importante destacar que el rendimiento del producto no depende únicamente de la cantidad de harina añadida, sino también de los ingredientes de la masa cárnica que contribuyen a retener las moléculas de agua y grasa, como señalan Abbasi et al. (2019). Se ha mencionado que los aditivos o emulsificantes pueden competir con la fibra dietética en el sistema cárnico, lo que podría disminuir el rendimiento (Ocampo-Olalde et al., 2015). Sin embargo, es crucial tener en

cuenta que Ocampo-Olalde et al. (2015) y Jeong & Han (2019) evaluaron el rendimiento en productos cocidos, donde el calor puede reducir la capacidad de unión de las moléculas de agua y proteína.

Por otro lado, el snack cárnico desarrollado es un producto crudo y fermentado que experimenta una merma o pérdida de peso durante el proceso de secado. Las muestras de snack cárnico se envasaron al vacío cuando la pérdida de agua alcanzó aproximadamente el 30%. Tras el envasado, tanto el contenido de agua como la masa sólida se mantuvieron constantes, lo que ocasionó la merma o pérdida de peso (Asmare & Admassu, 2013; Tabanelli et al., 2013).

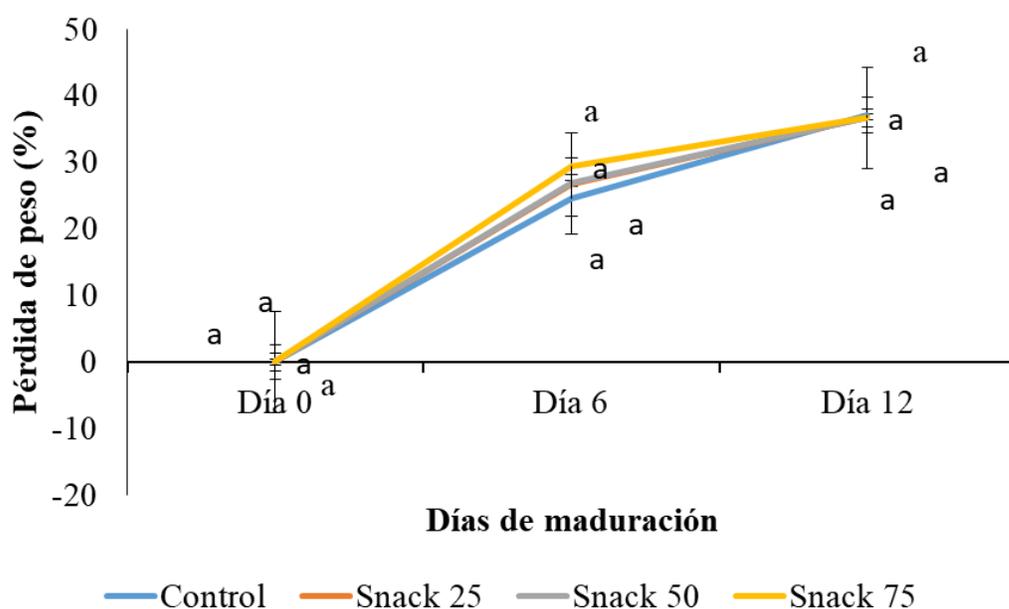


Figura 11. Pérdida de peso del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo) durante la maduración. Los valores se expresan como promedio \pm desviación estándar (n=3). Valores con diferentes letras minúsculas en superíndice indican diferencias significativas (P<0.05).

En cuanto a la actividad de agua (aw), esta disminuye a medida que aumenta la cantidad de HEOo en los snacks 25 y 50, respecto al snack control. Esta reducción de aw es común debido a la pérdida de agua durante el proceso de secado del snack. Sin embargo, en el caso del snack 75, es posible que la mayor cantidad de harina cree una superficie más seca en el snack cárnico, impidiendo que la humedad se desplace del interior al exterior lo que refleja en un aumento de la aw (Hansen, 2003).

Los resultados de color, pH y aw de los snacks cárnicos adicionados con HEOo se muestran en la tabla 17. El valor de luminosidad en el snack 25 es menor que en el control, pero a medida que aumenta la cantidad de harina en los snacks se recupera la luminosidad; esto se debe a los pigmentos (betalaínas) presentes en la HEOo, y a su contenido de fibra que incrementan la retención de agua y favorecen la luminosidad (Ocampo-Olalde et al., 2015). Por otro lado, los valores de a* (rojo) y b* (amarillo) tienden a disminuir con la adición de harina en los snacks. Estos resultados son diferentes a los reportados por Jeong & Han (2019) y Ocampo-Olalde et al. (2015) en salchichas con harinas de tuna de *O. humifusa* y cáscara de tuna de *O. ficus indica*, respectivamente. Estas inconsistencias en el color son porque intervienen diversos factores como concentración de la harina, cantidad de grasa y disponibilidad de agua (Ocampo-Olalde et al. 2015). Al respecto Jeong & Han (2019) y Ocampo-Olalde et al. (2015) utilizaron cantidades más pequeñas de harinas en sus salchichas; además Ocampo-Olalde et al. (2015) evaluaron un producto cocido, mientras que en este trabajo se experimentó con un producto crudo madurado con mayores cantidades de harina en el que no se afectan las betalaínas por ausencia de calor.

Tabla 17. Propiedades fisicoquímicas del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Parámetro	Snack control	Snack 25	Snack 50	Snack 75
pH	5.82 ± 0.10 ^c	5.61 ± 0.07 ^{ab}	5.71 ± 0.15 ^{bc}	5.54 ± 0.08 ^a
aw	0.851 ± 0.00 ^c	0.841 ± 0.00 ^b	0.833 ± 0.00 ^a	0.874 ± 0.00 ^d
Color				
L*	27.26 ± 1.75 ^b	23.83 ± 0.56 ^a	25.18 ± 0.99 ^a	28.63 ± 0.33 ^b
a*	18.53 ± 1.05 ^b	14.50 ± 2.72 ^a	10.07 ± 1.03 ^a	11.00 ± 0.76 ^a
b*	29.06 ± 1.74 ^b	27.27 ± 3.43 ^b	20.49 ± 0.97 ^a	18.89 ± 1.15 ^a

Los valores son expresados como promedio ± desviación estándar (n=3). Los valores con diferentes letras minúsculas en superíndice en el mismo renglón indican diferencia significativa (P<0.05).

En la figura 12 se presenta el efecto de la HEOo en la composición nutricional de los snacks de carne. Se observó un aumento significativo en la humedad y el contenido de fibra en los snacks 50 y 75, que contenían un 14% y un 21% de HEOo, respectivamente, en comparación con el snack control. Por otro lado, la proteína y la grasa disminuyeron a medida que se incrementó el porcentaje de HEOo en los snacks cárnicos. Las cenizas aumentaron en los snacks 25 y 50, pero disminuyeron en el snack 75. El contenido de carbohidratos en los snacks cárnicos no se vio afectado por la adición de HEOo.

Al-Marazeeq et al. (2023) informaron que al añadir harina de nopal *O. ficus indica* que la humedad, la proteína y la grasa disminuyeron, mientras que la fibra, las cenizas y los carbohidratos aumentaron en hamburguesas de res y pollo. Este mismo patrón se observó en el estudio de Jeong & Han (2019) en salchichas adicionadas con harina de tuna de *O. humifusa*, excepto en el caso de la humedad, que aumentó con el incremento del porcentaje de harina.

Las inconsistencias en los resultados de humedad se deben a la diferencia en el contenido de harina usada, Al-Marazeeq et al. (2023) utilizaron porcentajes menores de harina (1, 3 y 5%) en comparación con los porcentajes empleados en esta investigación (7, 14 y 21%) y con los porcentajes evaluados por Jeong & Han (2019). Se ha reportado que la fibra contenida en la harina tiene la propiedad de retener las moléculas de agua (Asmare & Admassu, 2013).

Las diferencias en el contenido de cenizas y carbohidratos pueden deberse a que las harinas de nopal *O. ficus indica* L y de tuna de *O. humifusa* tienen dos a tres veces más cenizas y carbohidratos que la HEOo. En general, la disminución en las cenizas, grasa y proteína se debe a la dilución de estos nutrientes por la adición de HEOo en el snack cárnico. Por lo tanto, la incorporación de ingredientes no cárnicos (harinas) en los productos cárnicos reduce su valor calórico (Asmare & Admassu, 2013).

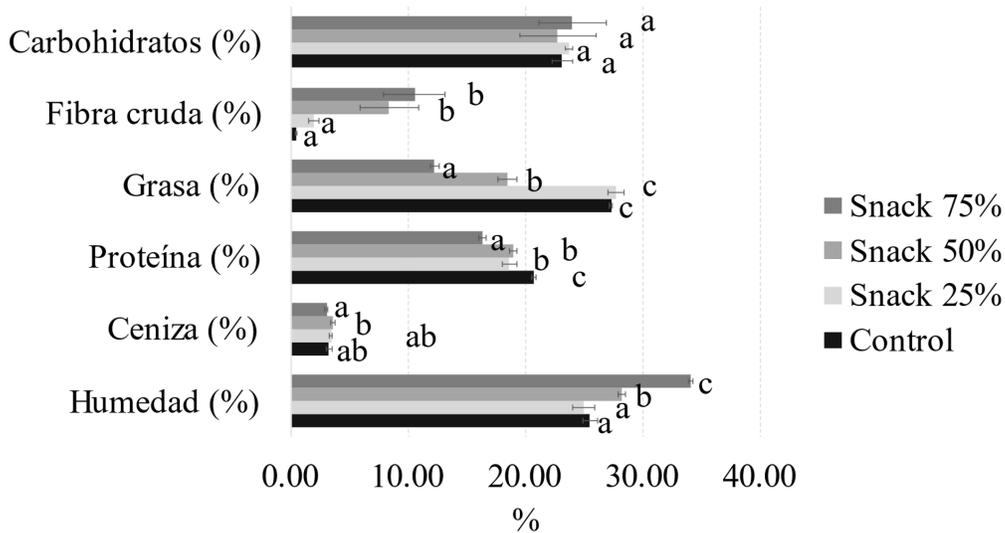


Figura 12. Composición nutricional del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo). Los valores son expresados con promedio \pm desviación estándar de 3 réplicas. Los valores con diferente letra en superíndice en el mismo componente son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

En lo referente a las propiedades tecnológicas del snack enriquecido con HEOo se presentan en la tabla 18. En esta investigación, los valores de WAI y OAI aumentan a medida que se incrementa la cantidad de HEOo en los snacks cárnicos. Este aumento se atribuye a la unión de los grupos OH de la HEOo con el agua a través de enlaces tipo puente de hidrógeno, como se ilustra en la figura 13 (Jeong & Han, 2019). Es importante destacar que el OAI es mayor que el WAI, lo que significa que los snacks con HEOo retienen más grasa que agua. Esto implica que la grasa no se absorbe en el intestino, sino que se elimina junto con la fibra, lo que puede regular el metabolismo de los lípidos y prevenir la obesidad (Héliès-Toussaint et al., 2020).

Tabla 18. Propiedades tecnológicas del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Propiedad	Snack control	Snack 25	Snack 50	Snack 75
WAI (g/g)	0.65 ± 0.01 ^a	0.82 ± 0.04 ^b	0.99 ± 0.05 ^c	1.11 ± 0.07 ^d
OAI (%)	1.01 ± 0.06 ^a	1.18 ± 0.07 ^a	1.15 ± 0.03 ^a	1.46 ± 0.05 ^b
EC (%)	99.14 ± 0.19 ^a	99.46 ± 0.13 ^{ab}	99.41 ± 0.16 ^{ab}	99.62 ± 0.36 ^b

WAI: índice de absorción de agua, OAI: índice de absorción de aceite, EC: capacidad de emulsión. Los valores son expresados con promedio ± desviación estándar de 3 réplicas. Los valores con diferente letra en superíndice en la misma fila son diferentes estadísticamente (P<0.05).

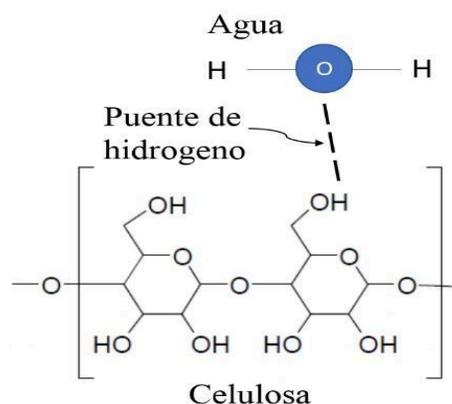


Figura 13. Unión de los grupos hidroxilo (OH) de la celulosa de la fibra de la HEOo con el oxígeno del agua a través de los puentes de hidrógeno (modificado del texto de Jeong & Han, 2019).

En lo referente a las características de textura (TPA), se observó que los valores de dureza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad de los snacks con HEOo aumentan significativamente en comparación con el snack control, excepto en el caso del snack 75, donde disminuyen significativamente (Tabla 19). De manera similar, la cohesividad aumenta en el snack 25 y disminuye en los snacks 50 y 75. El valor de resiliencia no presenta cambios significativos en los snacks con HEOo.

Estos resultados concuerdan con el estudio de Diego-Zarate et al. (2021), quienes reportaron un aumento de 29.73 a 34.13 N en la dureza de salchichas al añadir un 2% y 4% de harina de nopal de *O. ficus*, respectivamente; y una disminución en la dureza a 16.84 N con un 6% de harina. Además, observaron disminuciones en la gomosidad y masticabilidad. Diaz-Vela et al. (2015) también reportaron un aumento en la dureza en salchichas al adicionar un 3% de harina de tuna de *O. ficus*, de 15.70 a 26.40 N.

En contraste, Ocampo-Olalde et al. (2015) mencionan que al utilizar un 0, 2.5 y 5% de harina de cáscara de tuna de *O. ficus* en salchichas, no se observaron diferencias significativas en la dureza en comparación con el control, con valores en el rango de 20.8-33.3 N. Además, Jeong & Han (2019) reportaron un valor de dureza de 32.31 N en la salchicha control, y a medida que se aumenta la cantidad de harina de tuna de *O. humifusa* (1, 5 y 10%) en las salchichas, la dureza disminuyó a 23.78, 16.55 y 8.36 N, respectivamente.

Es importante destacar que los valores de TPA pueden depender de la especie de fruto con la que se elaboró la harina, el tipo de fibra presente y el porcentaje de inclusión de la harina (Diego-Zarate et al., 2021; Diaz-Vela et al., 2015). Por ejemplo, la harina de nopal *O. ficus indica* aporta mayor dureza que las harinas de cáscara de tuna de *O. ficus* y tuna completa de *O. humifusa* debido a un mayor contenido de fibra dietética ($41.83 \pm 2.98\%$, $33.00 \pm 0.00\%$ y $21.28 \pm 0.06\%$, respectivamente), también influye la especie de cactácea y la cantidad de harina (Diego-Zarate et al., 2021; Parafati et al., 2020; Jeong & Han, 2019). Los nopales contienen gran porcentaje de fibra soluble, que incluye un líquido viscoso conocido como mucílago, compuesto por cadenas de heteropolisacáridos solubles en agua que se repelen entre sí y aumentan la viscosidad (Du et al., 2019).

Por otro lado, la harina de cáscara de tuna contiene fibra insoluble, compuesta principalmente por celulosa y pectina (Ocampo-Olalde et al., 2015). La celulosa es un polisacárido insoluble (Barragán-Martínez et al., 2020) que puede hincharse y retener agua, formando una red en la masa cárnica, mientras que la pectina también contribuye a la viscosidad debido a su propiedad emulsificante (Ocampo-Olalde et al., 2015). Las proporciones de fibra soluble/insoluble y la naturaleza de los polisacáridos pueden influir en la consistencia de los productos cárnicos (Diaz-Vela et al., 2015).

El porcentaje de inclusión de harina influye en la interacción proteína-proteína y proteína-agua de la matriz alimentaria (Ocampo-Olalde et al., 2015), y probablemente existe un punto de equilibrio entre los ingredientes de la masa cárnica que permiten la incorporación de cierta cantidad de otro ingrediente (Diego-Zarate et al., 2021).

Es importante tener en cuenta que en los estudios de Diaz-Vela et al. (2015), Barragán-Martínez et al. (2020) y Ocampo-Olalde et al. (2015), se utilizaron fosfatos y/o carragenina en sus formulaciones. La carragenina es conocida por su capacidad espesante, y los fosfatos tienen la propiedad de retener agua. Por lo tanto, los valores de dureza en los productos cárnicos evaluados en estos estudios pueden variar independientemente de la cantidad de harina de la cactácea utilizada, debido a la influencia de estos ingredientes adicionales en la textura y la estructura del producto final.

Cabe mencionar que en el estudio de Diego-Zarate et al. (2021), se investigó la harina de nopal *Opuntia* sp. donde mencionan que los nopales son naturalmente ricos en calcio. Con relación a esto, Morales-Martínez et al. (2018) han demostrado que existe una interacción hidrofóbica entre el calcio y las pectinas presentes en la tuna de *O. albicarpa* y el xoconostle de *O. matudae*, lo que mejora la elasticidad del gel de pectina-calcio. Esto podría tener un impacto en la textura de los productos cárnicos enriquecidos con harina de nopal, ya que el calcio puede desempeñar un papel en la formación de la estructura y la textura final del producto.

Tabla 19. Análisis de perfil de textura (TPA) del snack cárnico adicionado con HEOo.

Parámetro	Snack control	Snack 25%	Snack 50%	Snack 75%
Dureza (N)	7.16±1.60 ^a	15.31±1.29 ^c	21.87±1.10 ^d	11.59±1.60 ^b
Resiliencia	0.15±0.02 ^a	0.19±0.01 ^b	0.19±0.02 ^b	0.18±0.01 ^b
Cohesividad	0.50±0.03 ^a	0.56±0.02 ^b	0.50±0.08 ^a	0.50±0.02 ^{ab}
Elasticidad	0.47±0.04 ^a	0.54±0.04 ^b	0.50±0.01 ^{ab}	0.51±0.04 ^{ab}
Gomosidad (N)	357.09±86.00 ^a	860.30±92.63 ^c	1106.80±210.68 ^d	593.09±76.55 ^b
Masticabilidad (N)	1.66±0.38 ^a	4.64±0.71 ^c	5.54±1.02 ^c	3.06±0.58 ^b

N: Newtons. Los valores son expresados con promedio ± desviación estándar de 3 réplicas. Los valores con diferente letra en superíndice en la misma fila son diferentes estadísticamente (P<0.05).

Las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) de los snacks se presentan en la figura 14. En la figura 14a, se puede observar una estructura alargada de color blanco que describe al tendón y cúmulos de grasa; mientras que en las demás figuras resulta difícil identificar estos últimos. En las figuras 14b, 14c, 14d, se aprecia un material fibroso que puede explicar el aumento en la humedad y la estabilidad de la emulsión, a pesar de la menor cantidad de grasa en los snacks. Este material corresponde a las fibras de HEOo, que se muestran en la parte central de la figura 14b y 14d como un material irregular, amorfo, insoluble y de color claro. Estas mismas características fueron reportadas

por Diaz-Vela et al. (2015) en salchichas enriquecidas con cáscara de tuna de *O. ficus indica*.

En la Figura 14c, se puede observar una fibra vegetal cubierta de masa cárnica y algunos cúmulos de grasa. Esto sugiere que los cúmulos de grasa permiten la unión con la parte lipofílica de las proteínas; mientras que la parte hidrofílica de las proteínas se une con la fase acuosa y la fibra vegetal. Este comportamiento fue reportado por Morin et al. (2004) en salchichas bajas en grasa enriquecidas con carboximetilcelulosa y β -glucanos de cebada.

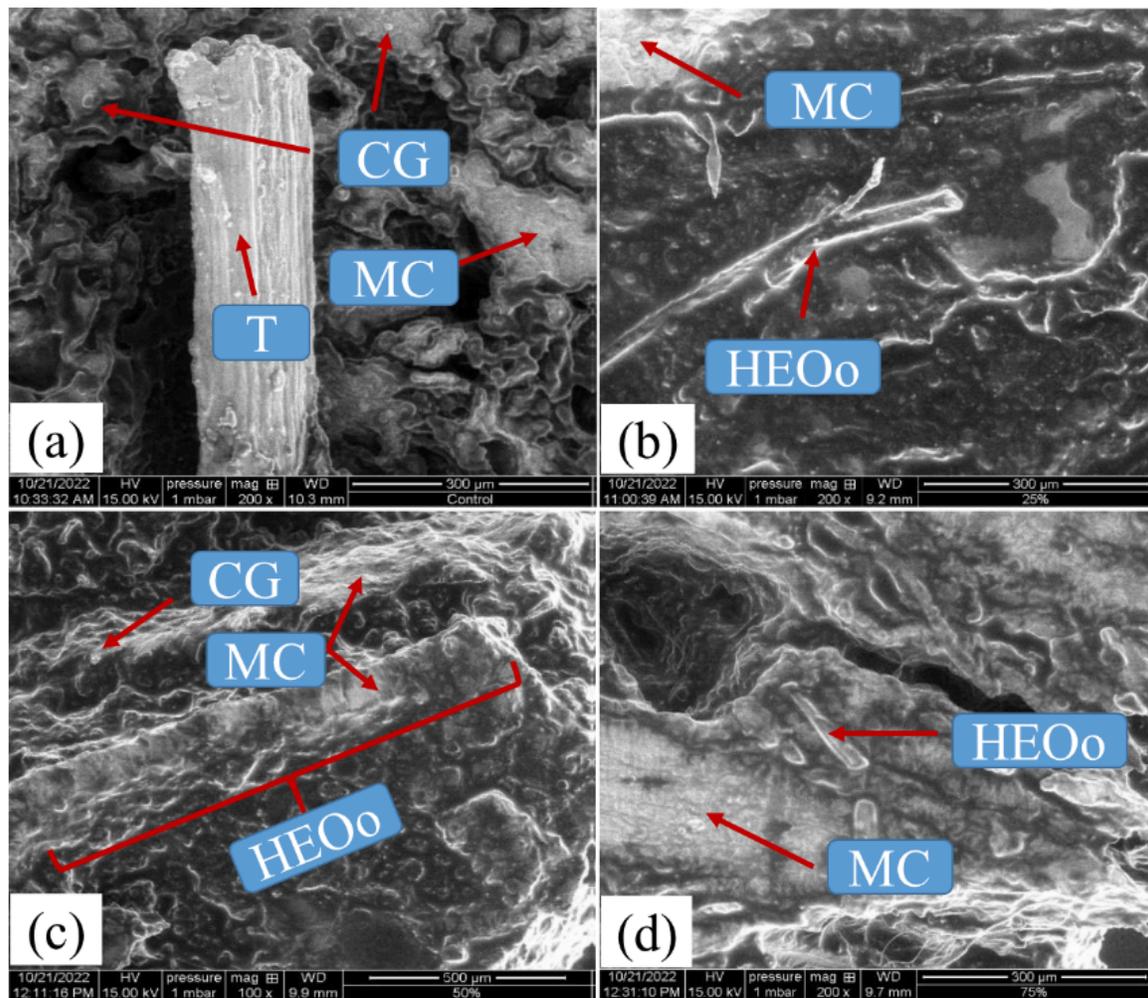


Figura 14. Microscopía electrónica de barrido (MEB) del snack cárnico. (a) snack control, (b) snack 25, (c) snack 50 y (d) snack 75. CG, cúmulos de grasa; T, tendón; MC, masa cárnica y HEOo, harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

Los resultados del análisis microbiológico de los snacks enriquecidos con HEOo se presentan en la tabla 20. Se observa que las bacterias ácido lácticas (BAL) se mantienen en niveles constantes en el snack control y el snack 25, pero disminuyen en el snack 50 y vuelven a aumentar en el snack 75. Este patrón parece depender de la concentración de harina, y es coherente con el estudio de Campagnol et al. (2013), quienes añadieron harina de fibra de soya a embutidos fermentados. Diaz-Vela et al. (2015) también informaron que, independientemente de la concentración de harina de cáscara de tuna de *O. ficus*, hubo una disminución en la cantidad de BAL durante el almacenamiento a lo largo del tiempo. Esto se debe a que cada mezcla de embutido tiene una selectividad natural que favorece el desarrollo de bacterias ácido lácticas específicas (Hansen, 2003).

En este estudio, no se detectaron coliformes totales en ninguno de los snacks de carne. Estos resultados son consistentes con los de Barragán-Martínez et al. (2020), quienes reportaron una disminución en el pH de los embutidos debido a la adición de harina de cáscara de tuna de *O. ficus*, lo que resultó en una reducción del crecimiento microbiano. Además, Hayek & Ibrahim (2012) han señalado que el xoconostle *O. matudae* contiene compuestos fenólicos, ácido ascórbico y betalainas que tienen actividad contra *Escherichia coli*, mediante la alteración de la permeabilidad de la célula microbiana. Por otro lado, la disminución de la aw durante el proceso de secado del snack cárnico limita el desarrollo de bacterias indeseables y es una parte clave de la conservación de un producto fermentado (mediante acidez y secado) (Hansen, 2003).

El recuento de hongos y levaduras en los snacks oscila entre 5.33 y 6.00 UFC/g, lo cual es más alto que las 4.26 UFC/g consideradas normales en productos cárnicos crudos fermentados, según lo reportado por Fernández-López et al. (2008). La cantidad de hongos y levaduras puede depender de la cantidad inoculada en el producto; en este trabajo se agregó el inóculo a una concentración aproximadamente de 10^7 UFC/g de masa cárnica, conteniendo especies como *Penicillium nalgioense*, *Debaryomyces hansenii* reportadas por el laboratorio (Hansen, 2003). Los hongos y levaduras desempeñan un papel importante en estos productos, ya que poseen actividades lipolíticas y proteolíticas que contribuyen al sabor en el producto final, y además de reducir la oxidación de los lípidos, previniendo la rancidez (Fernández-López et al., 2008).

En cuanto a la cuenta total, que se refiere a la cantidad total de microorganismos viables en el producto cárnico (NOM-092-SSA1-1994), se observó que el snack control tiene una cuenta total mayor (6.02 UFC/g) que el snack 50 (5.34 UFC/g) pero menor que el snack 75 (6.21 UFC/g). Este comportamiento es similar al observado por Cerón-Guevara et al. (2020b) en salchichas enriquecidas con harinas de hongos comestibles, donde mencionaron que el aumento en la cuenta total de microorganismos podría deberse a bacterias u hongos naturales presentes en la harina, los cuales provienen del suelo.

Tabla 20. Bacterias en el snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Microorganismo	Snack control	Snack 25	Snack 50	Snack 75
Bacterias ácido lácticas	5.92 ± 0.02 ^b	5.95 ± 0.07 ^b	5.24 ± 0.01 ^a	5.99 ± 0.03 ^b
Coliformes totales	ND	ND	ND	ND
Hongos y levaduras	5.81 ± 0.10 ^b	6.00 ± 0.01 ^b	5.33 ± 0.08 ^a	5.86 ± 0.08 ^b
Cuenta total	6.02 ± 0.01 ^b	6.15 ± 0.01 ^{bc}	5.34 ± 0.10 ^a	6.21 ± 0.03 ^c

Los resultados se expresaron en UFC/g de muestra, reportados como promedios ± desviación estándar, diferentes letras en el mismo renglón son diferentes significativamente (P<0.05). ND: no detectadas.

En la figura 15 se presentan los resultados de los atributos de color, olor, sabor y textura de los snacks de carne enriquecidos con HEOo. El color es un atributo de gran relevancia en la decisión de compra del producto por parte del consumidor (Al-Marazeeq et al., 2023). La aceptabilidad del color de los snacks se vió afectada por el aumento en la concentración de harina de endocarpio de *O. oligacantha*. Este efecto se ha observado previamente en estudios como el de Diego-Zarate et al. (2021), quienes evaluaron salchichas de cerdo con un contenido de harina de nopal *Opuntia sp.* del 2, 4 y 6%. Asimismo, Al-Marazeeq et al. (2023) reportaron que el incremento en el contenido de harina de nopal *O. ficus indica L.* del 1 al 5% en hamburguesas de pollo y res afectó el atributo del color durante los primeros 50 días de almacenamiento, aunque observaron una mejora en la aceptabilidad del color entre los días 75 y 100 de almacenamiento. En contraste, Jeong & Han, (2019) encontraron que la inclusión del 1 y 5% de harina de tuna de *O. humifusa f. jeollaensis* en salchichas de cerdo mejoraba la aceptabilidad del color, pero al aumentar la inclusión al 10% se veía afectado este atributo. Estas diferencias en el atributo del color se deben a los pigmentos específicos de cada tipo de músculo, a la clorofila presente en el nopal (Al-Marazeeq et al., 2023) y las betalaínas de *O. oligacantha* (Medina-Pérez et al., 2021); así como a la degradación de las betacianinas durante el proceso de cocción (Jeong & Han, 2019), en el

caso de las salchichas y hamburguesas. Los cambios en la puntuación del color también pueden estar relacionados con el porcentaje de inclusión de harina, debido a la capacidad de la fibra para retener humedad, lo que destaca el color del producto cárnico (Jeong & Han, 2019).

De forma general el color, olor y la textura de todos los snacks adicionados con HEOo tuvieron puntajes medios (2.34-3.60), comparados con el control (3.66-3.99) en la escala hedónica de 5 puntos. Mientras que el snack 25 (3.56) no mostró diferencias significativas en cuanto al sabor en comparación con el control (3.81), se observó una afectación en el sabor al aumentar el porcentaje de harina en los snacks 50 y 75. Este hallazgo es coherente con el estudio de Diego-Zarate et al. (2021), pero contrasta con los resultados de Al-Marazeeq et al. (2023). Estas diferencias en el sabor podrían deberse a que Diego-Zarate et al. (2021) y Al-Marazeeq et al. (2023) evaluaron productos cocidos, mientras que el snack cárnico en este estudio es un producto cárnico crudo fermentado, que es menos consumido en México. El sabor de este tipo de productos crudos depende del tiempo de maduración y almacenamiento, y estos snacks fueron evaluados sensorialmente a los 20 días de su elaboración, lo que podría explicar los puntajes medios en sabor. Además, Diaz-Vela et al. (2017) han informado sobre la neofobia hacia productos cárnicos nuevos, como salchichas adicionadas con harina de tuna de *O. ficus indica*, que son considerados productos saludables. Esta neofobia es más común en personas mayores de 30 años. En la evaluación sensorial realizada en este estudio, la mayoría de los consumidores eran universitarios, lo que también podría haber influido en los resultados.

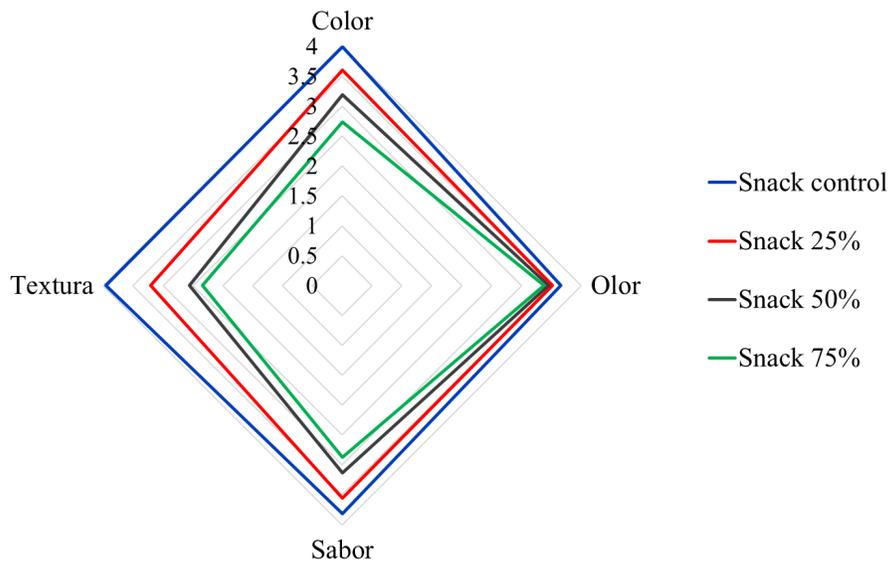


Figura 15. Prueba de nivel de agrado del snack cárnico adicionado con harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

6.5. Ensayo *in vivo*.

6.5.1. Toxicidad oral aguda.

Ningún animal murió durante los 14 días de observación después de la dosis de 2000 mg/Kg de HEOo. Las ratas comieron e incrementaron su masa corporal de forma normal (Figura 16). Además no se observaron signos de toxicidad tales como dificultad para respirar, pérdida del apetito o muerte. De acuerdo con los estándares de la OECD, HEOo tiene una $DL_{50} > 2000$ mg/Kg se considera como una especie inocua (tabla 21).

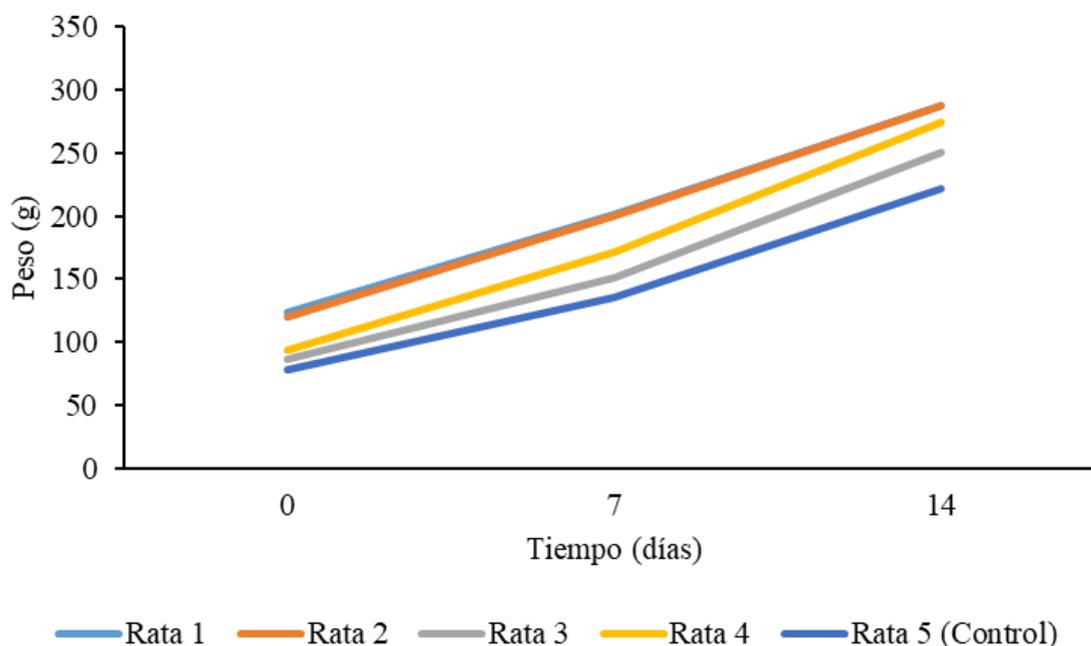


Figura 16. Curva de crecimiento de peso de las ratas semanalmente durante 14 días después de la administración de la HEOo por vía oral.

Tabla 21. DL_{50} de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo).

Fase	Dosis (mg/Kg)
Fase I	2000
Mortalidad	0/5
DL_{50}	> 2000

6.5.2. Efecto sobre el peso.

En la figura 17 se observa el efecto de la HEOo sobre el peso corporal de las ratas. El grupo de ratas alimentadas con una dieta control hipercalórica (H1) presenta un mayor rango de peso (276-374 g) que el grupo alimentado con una dieta control de mantenimiento (M1) (229-336 g) debido a su mayor contenido calórico. Sin embargo, el grupo alimentado con una dieta de mantenimiento adicionada con HEOo (M5) aumenta el peso de las ratas mostrando un rango de peso de 283-387 g, mayor que los grupos H1 y M1.

Además, el rango de peso corporal del grupo M5 es mayor que el rango de peso corporal de las ratas alimentadas con dietas hipercalóricas adicionadas con HEOo (H5) (258-358 g) , demostrando que la HEOo reduce el peso corporal de las ratas incluso cuando se alimentan con dietas altas en grasa. Sin embargo, cuando se añade el snack 25 a las dietas hipercalóricas (H4), se observa un rango de peso corporal (278-387 g) mayor, lo que indica que el consumo de este producto cárnico favorece un mayor peso en las ratas. Ferreira et al., (2024) reportaron que la harina de nopal *Opuntia ficus indica* promueve la ganancia de peso en las ratas cuando se adiciono en un 5% a una dieta hipercalórica.

Estos resultados también coinciden con los reportados por Cysneiros et al. (2019), quienes encontraron que una dieta occidental adicionada con 5% de manteca incrementa más el peso corporal de las ratas Wistar en comparación con ratas alimentadas con la misma dieta sin manteca. También observaron que la misma dieta occidental, cuando se le añade harina de *Opuntia ficus indica* (16-17 g/100 g), incrementa el peso de las ratas más que una dieta control sin manteca y baja en azúcares. Los autores explican que el aumento de peso corporal no solo depende de la ingesta de la dieta, sino también de la cantidad y calidad de los nutrientes, así como de una mejor eficiencia metabólica. Algo similar reportaron Tegegne et al., (2007) en donde el nopal *Opuntia ficus indica* incrementa la ganancia de peso en ovinos, porque esta cactácea mejora la degradación de la dieta, debido a que la fibra del nopal modifica la viscosidad y estabilidad del alimento en digestión.

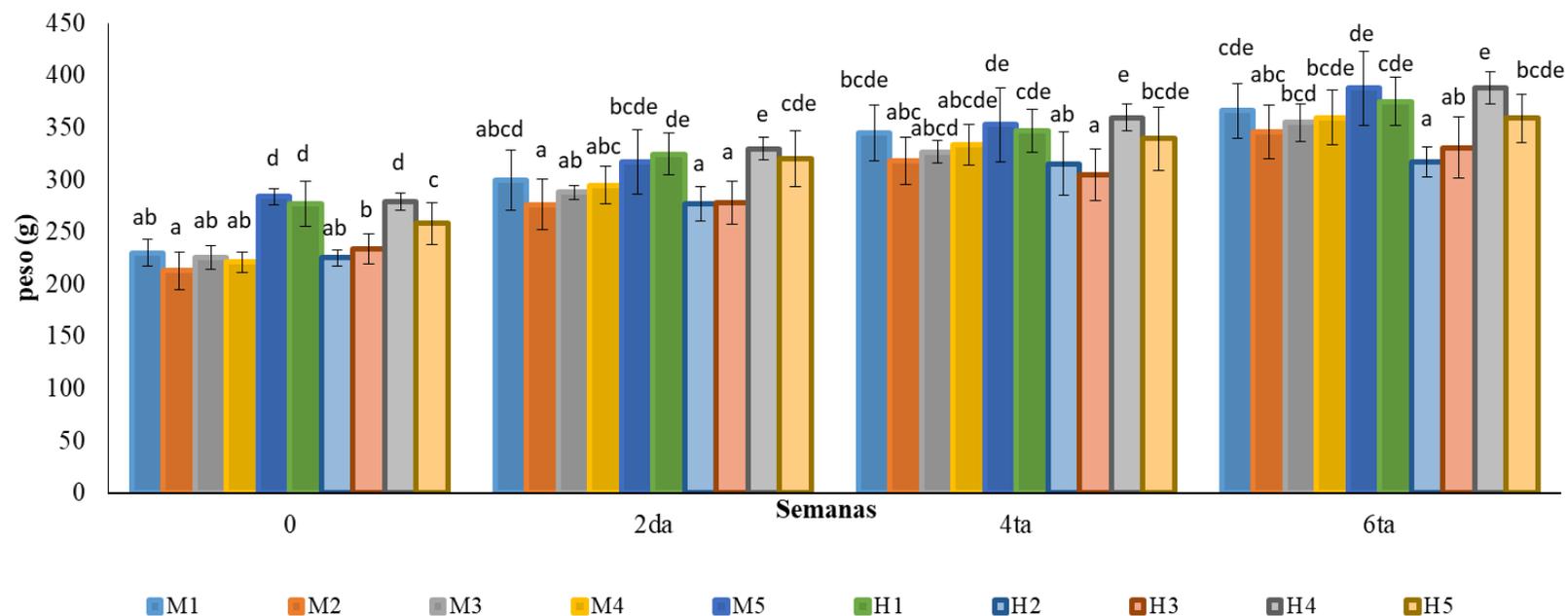


Figura 17. Peso corporal de las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento o dietas hipocalóricas con o sin HEOo o snack 25 o harina de nopal. M1:DM, M2:DM+snack sin HEOo, M3: DM+harina de nopal, M4: DM + snack 25; M5: DM+HEOo, H1: DH, H2:DH+snack sin HEOo, H3: DH+harina de nopal, H4: DH +snack 25; H5:DH+HEOo. DM=Dieta de mantenimiento; DH=Dieta hipercalórica; HEOo= Harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*; Snack 25: Snack con 7% de HEOo y 21.06% de grasa. Los valores son expresados con promedio \pm desviación estándar. Los valores con diferente letra en superíndice entre grupos son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

6.5.3. Efecto sobre los niveles de glucosa en sangre capilar durante el experimento.

Los efectos de la HEOo y el snack adicionado con HEOo sobre los niveles de glucosa en la sangre de las ratas obesas se determinaron cada 2 semanas durante 6 semanas, como se muestra en la figura 18. Al inicio del experimento, no se observaron diferencias significativas entre los valores promedio de glucosa en sangre de las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento y dietas hipercalóricas adicionadas con harina de nopal, HEOo, o snack con o sin HEOo.

Sin embargo, a partir de la segunda semana del experimento, se observó una disminución significativa en los valores de glucosa en el grupo alimentado con la dieta de mantenimiento adicionada con snack 25 (M4), cuyos niveles de glucosa se mantuvieron constantes entre 90-96.50 mg/dL hasta el final del estudio, a pesar del consumo ad libitum. Estos niveles fueron incluso menores que los del grupo alimentado con dieta de mantenimiento adicionada con harina de nopal (M3), cuyo rango de glucosa fue de 109-119 mg/dL. En las ratas alimentadas con dieta hipercalórica adicionada con snack 25 con HEOo (H4) se observó una disminución de la glucosa a 99.80 mg/dL a partir de la 4ta semana de tratamiento, cuando las ratas alimentadas con dieta hipercalórica adicionada con snack sin HEOo (H2) aumentaron la glucosa a 114.60 mg/dL en la misma semana, lo que nos refleja un efecto hipoglucemiante del snack adicionado con HEOo. Por otro lado, las ratas alimentadas con dieta hipercalórica adicionada con HEOo (H5) tuvieron un rango de 88.60-101.25 mg/dL, menor que 99.80-104 mg/dL de glucosa correspondiente a los animales alimentados con dieta hipercalórica adicionada con snack 25 con HEOo (H4) solamente de la 2da a la 4ta semana de tratamiento; en la 6ta semana estos grupos (H4 y H5) incrementan los valores de glucosa hasta 109 y 129 mg/dL, respectivamente. Las ratas alimentadas con dieta de mantenimiento adicionada con HEOo (M5) tuvieron un promedio de 94.00 mg/dL de glucosa en la 4ta semana y, en esta misma semana, las ratas del grupo H5 tuvieron en promedio 88.60 mg/dL de glucosa; es decir la HEOo redujo más la glucosa aun dentro de una dieta hipercalórica comparada con una dieta de mantenimiento. Sin embargo esta tendencia se modificó para la 6ta semana de tratamiento porque probablemente la dosis de HEOo ya no fue suficiente para disminuir los niveles de glucosa en sangre de las ratas de tamaño adulto en la última semana experimental. Este

comportamiento también fue observado por Hahm et al. (2011), quienes reportaron una disminución en los niveles de glucosa después de la administración oral de una suspensión de harina de cebada durante 10 días en ratas Sprague-Dawley alimentadas con una dieta estándar a base de cereales. Los animales que no recibieron la harina mostraron niveles de glucosa más altos, lo que sugiere que la harina de cebada tiene un efecto hipoglucemiante significativo. Por otra parte, Pimienta-Barrios et al (2008) administraron cáscara de *Opuntia joconostle* a pacientes con Diabetes mellitus tipo 2 y observaron una disminución en los niveles séricos de glucosa, así como un incremento en la concentración de insulina. Asimismo, Medina-Pérez et al. (2019), demostraron que un extracto acuoso obtenido del fruto completo de *Opuntia oligacantha* C.F. Först inhibió a las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa en un $63.0 \pm 0.53\%$ a 25 mg/mL. Medina-Pérez et al. (2020) mencionaron que los grupos 3 '4 dihidroxilos del anillo B de los flavonoides interfieren con los aminoácidos que son el sitio de acción de las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa; retrasando la digestión y conversión de almidón en azúcares simples. Es posible que el efecto hipoglucemiante observado en este trabajo para la harina de endocarpio de *O. oligacantha* se debe al contenido de compuestos fenólicos. Paiz et al., (2010) han resumido hipotéticamente el efecto hipoglucemiante de *Opuntia joconostle* en ratas diabéticas: 1) aumenta la liberación de insulina estimulando células β pancreáticas; 2) mejora la función de las hormonas implicadas en el aumento de los niveles de glucosa en sangre; 3) incrementa el número y sensibilidad de los receptores de insulina; 4) reduce la pérdida de glucógeno estimulando el consumo de glucosa en los órganos; 5) aumenta la eliminación de radicales libres previniendo la peroxidación lipídica; 6) corrige el daño metabólico relacionado con los lípidos y proteínas y 7) estimula la microcirculación de la sangre en los organismo.

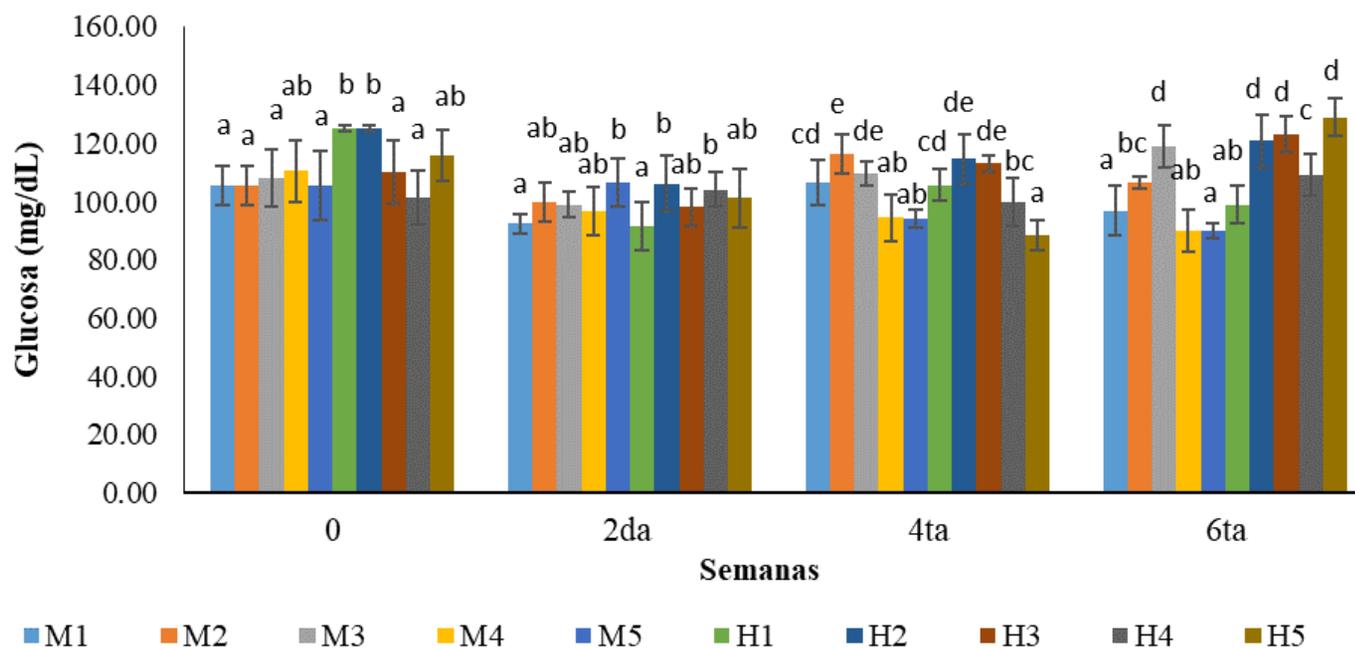


Figura 18. Niveles de glucosa cada 2 semanas de las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento o dietas hipocalóricas con o sin HEOo o snack 25 o harina de nopal. M1:DM, M2:DM+snack sin HEOo, M3: DM+harina de nopal, M4: DM + snack 25; M5: DM+HEOo, H1: DH, H2:DH+snack sin HEOo, H3: DH+harina de nopal, H4: DH +snack 25; H5:DH+HEOo. DM=Dieta de mantenimiento; DH=Dieta hipercalórica; HEOo= Harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*; Snack 25: Snack con 7% de HEOo y 21.06% de grasa. Los valores son expresados con promedio \pm desviación estándar. Los valores con diferente letra en superíndice entre grupos son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

6.5.4. Efecto sobre los lípidos en sangre.

En la figura 19 se reportan los parámetros bioquímicos de colesterol total y triacilglicéridos o triglicéridos al final del experimento.

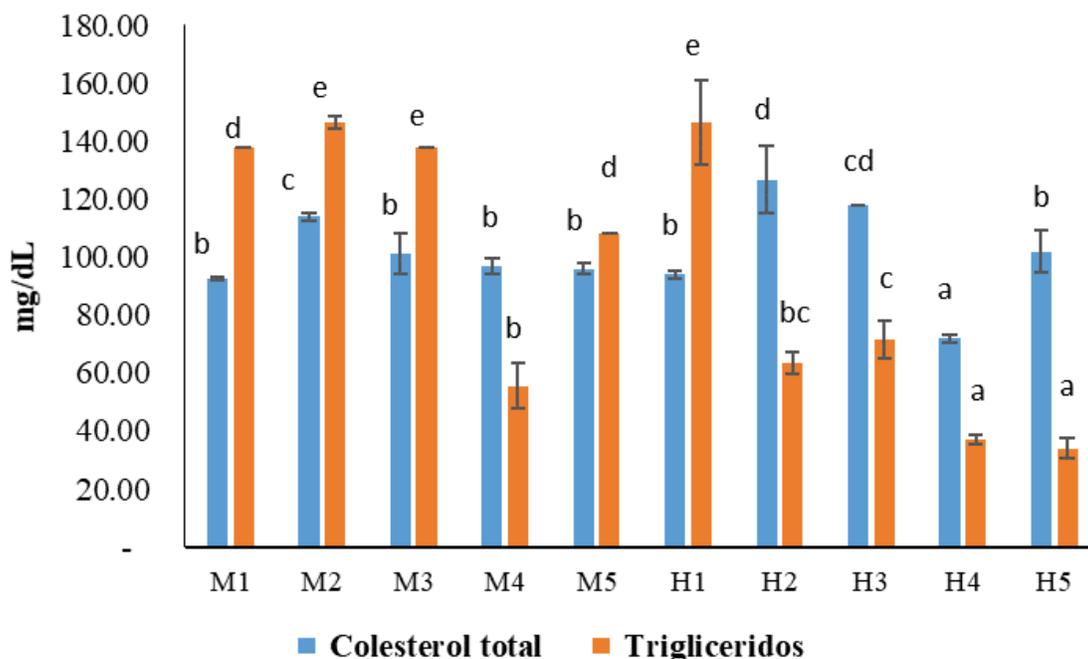


Figura 19. Parámetros bioquímicos (colesterol total y triglicéridos) de las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento o dietas hipocalóricas con o sin HEOo o snack 25 o harina de nopal al final de la etapa experimental. M1:DM, M2:DM+snack sin HEOo, M3: DM+harina de nopal, M4: DM + snack 25; M5: DM+HEOo, H1: DH, H2:DH+snack sin HEOo, H3: DH+harina de nopal, H4: DH +snack 25; H5:DH+HEOo. DM=Dieta de mantenimiento; DH= Dieta hipercalórica; HEOo= Harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*; Snack 25: Snack con 7% de HEOo y 21.06% de grasa. Los valores son expresados con promedio \pm desviación estándar. Los valores con diferente letra en superíndice entre grupos son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

Se observa que los niveles de colesterol total son menores en las ratas alimentadas con dieta control de mantenimiento (M1), dieta de mantenimiento adicionada con snack 25 (M4), dieta de mantenimiento adicionada con HEOo (M5) y dieta hipercalórica H4 adicionada con snack 25, presentando un rango de 72-96 mg/dL, más bajo significativamente que el rango de 114-126.67 mg/dL correspondiente a los grupos H2, H3, y M2 que son ratas alimentadas con dietas hipercalóricas sin HEOo o harina de nopal. Un comportamiento similar fue observado por Osorio-Esquivel et al. (2012), quienes lograron disminuir los valores séricos de colesterol total de 77.8 ± 13.8 a 43.6 ± 12.3 mmol/L en ratas alimentadas con una dieta hipercolesterolémica a las que se les administró extracto metanólico de *Opuntia joconostle* a dosis de 5g/kg durante seis días. Los autores mencionan que este efecto puede ser atribuido a la presencia de flavonoides, ya que se ha observado que estos polifenoles pueden unirse a los esteroides neutros y ácidos biliares en el intestino disminuyendo así su absorción.

Asimismo, los niveles séricos de colesterol en este estudio podrían estar influenciados por el contenido de fibra en la harina de endocarpio de *O. oligacantha* (EHOo). Se ha observado que la viscosidad de la fibra soluble dificulta la reabsorción de sales biliares en el intestino delgado, dificultando así la circulación enterohepática, provocando una mayor excreción en las heces; en consecuencia, las sales biliares disminuyen y recuperan su concentración, siendo el colesterol catabolizado por los hepatocitos. Además, el aumento de los receptores de membrana para las lipoproteínas de baja densidad (colesterol) mejora la captura de colesterol de circulación y disminuyen el colesterol en la sangre. Las fibras solubles también disminuyen la emulsificación de lípidos y aumentan los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) a través de la fermentación de fibras en el colon. Así, el pH del colon disminuye y modifica la microbiota del colon, lo que aumenta de forma redundante la síntesis de SCFA como propionato, acetato y butirato, que se han asociado con una síntesis reducida de colesterol (Cárdenas et al, 2019).

Con respecto a los triacilglicéridos, los valores más bajos se observaron para las ratas con dietas hipercalóricas adicionadas con harina de *Opuntia oligacantha* (HEOo) o snack, excepto para el grupo que recibió dieta hipercalórica control (H1). Este comportamiento es similar al observado por Cysneiros et al. (2019), quienes lograron reducir el contenido de triacilglicéridos de 122-213 mg/dL a 114-123 mg/dL cuando administraron vía oral harina de *Opuntia ficus indica* en ratas obesas alimentadas con dietas occidentales adicionadas con manteca o azúcares, comparadas con dieta estándar -93 AINs.

Es probable que el efecto de *O. oligacantha* sobre los triacilglicéridos se debe al contenido de mucílago y fibra en la harina, ya que se sabe que los xoconostles son una fuente importante de estas moléculas. Se ha observado que la administración de mucílago de Okra ayuda a disminuir el efecto hiperlipidémico en ratones diabéticos (Uddin Zim et al, 2021). Por otra parte, el nopal (*Opuntia ficus indica*), administrado a una dosis de 4.36 g/kg al día durante 3 semanas, disminuyó los niveles de triacilglicéridos en ratas alimentadas con una dieta alta en fructosa. Se han estipulado varios mecanismos de acción del nopal sobre los triacilglicéridos, incluida la vía de la adiponectina y la participación de las fibras. Se ha evidenciado que éstas últimas disminuyen la absorción intestinal de lípidos debido a su viscosidad, pues aumenta la capa acuosa en el intestino en reposo, llamada capa de agua no agitada (UWL), aumentando el espesor de la UWL, dificultando así la absorción de los lípidos en las células intestinales apicales. Además, los componentes de la fibra dietética pueden modificar la arquitectura intestinal, y esto podría estar relacionado con características funcionales alteradas (Cárdenas et al, 2019).

6.5.5. Efecto sobre la longitud de la cola y la circunferencia de la cintura de las ratas.

En la tabla 22 se muestran la longitud de la cola y la circunferencia de las ratas alimentadas con las diferentes dietas entre grupos. Se observa que la medida de la cintura en las ratas alimentadas con dieta de mantenimiento adicionada con HEOo (M5) es de 18.98 cm mayor que 17.38 cm correspondiente a las ratas alimentadas del grupo H5 a pesar de ser una dieta hipercalórica atribuyendo el efecto a la fibra de la HEOo; al respecto Giglio et al., (2020) reportaron que una pasta de trigo suplementada con *Opuntia ficus indica* disminuye la circunferencia de la cintura en personas adultas después de un mes de consumo. La longitud de la cola es mayor significativamente en las ratas alimentadas con dietas hipocalóricas (H4 y H5) en respuesta al mayor peso corporal de las ratas como lo mencionan Rhees & Atchley (2000), ya que ellos reportan que las diferencias de la longitud de la cola entre ratas de la misma edad son atribuibles al aumento lineal significativo de peso corporal .

Tabla 22. Medida de la cola y circunferencia de la cintura de las ratas.

Grupos	Cola (cm)	Cintura (cm)
M1	19.68 ± 0.84 ^{bc}	17.20 ± 1.15 ^{ab}
M2	19.40 ± 0.96 ^{bc}	17.70 ± 1.04 ^{ab}
M3	19.44 ± 0.52 ^{bc}	16.70 ± 0.91 ^a
M4	18.34 ± 0.55 ^a	17.76 ± 0.51 ^{ab}
M5	18.80 ± 0.85 ^{ab}	18.98 ± 1.27 ^c
H1	18.32 ± 0.52 ^a	18.16 ± 0.40 ^{bc}
H2	19.60 ± 0.65 ^{bc}	16.70 ± 0.76 ^a
H3	19.60 ± 0.55 ^{bc}	17.30 ± 1.15 ^{ab}
H4	20.24 ± 0.92 ^{cd}	17.90 ± 0.41 ^{bc}
H5	20.78 ± 0.63 ^d	17.38 ± 0.30 ^{ab}

M1:DM, M2:DM+snack sin HEOo, M3: DM+harina de nopal, M4: DM + snack 25; M5: DM+HEOo, H1: DH, H2:DH+snack sin HEOo, H3: DH+harina de nopal, H4: DH +snack 25; H5:DH+HEOo. DM=Dieta de mantenimiento; DH= Dieta hipercalórica; HEOo= Harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*; Snack 25: Snack con 7% de HEOo y 21.06% de grasa. Los resultados son expresados como promedio ± desviación estándar, n=5. Los valores con diferente letra en superíndice entre grupos son diferentes estadísticamente (P<0.05).

6.5.6. Efecto sobre el coeficiente de órganos.

En la figura 20 se reporta el porcentaje del coeficiente de órganos como corazón, testículos, hígado y riñones. De forma general el rango de coeficientes de corazón, testículos y riñones es mayor en ratas alimentadas con dietas de mantenimiento (0.28–0.39%), (0.88–1.06%) y (0.71–0.90%), que con dietas hipercalóricas (0.28-0.37%), (0.82-1.01%) y (0.71-0.83%), respectivamente, esta disminución en el valor del coeficiente de órganos es porque el peso de los órganos es relativo al peso corporal total de la rata (a mayor peso de la rata, menor el coeficiente de órgano), ya que los grupos de ratas alimentadas con dietas hipercalóricas fueron las más pesadas; por el contrario las ratas alimentadas con dietas de mantenimiento tienen un rango de coeficiente del hígado (2.38–3.05%) menor que (2.21-3.54%) correspondiente a las ratas alimentadas con dietas hipercalóricas, esto quiere decir que el coeficiente de los órganos no depende completamente del peso corporal, y este se puede observar en la figura 20c comparando solamente los grupos de ratas alimentadas con dietas hipercalóricas, y observamos que el grupo H1 tiene el coeficiente de hígado más alto (3.54%), demostrando que la dieta hipercalórica incrementa el peso de este órgano, como lo reportan Ferreira et al., (2022) quienes ofrecieron una dieta hipercalórica resultando el aumento de peso del hígado de ratas debido a la deposición de lípidos en este órgano conocida como esteatosis hepática. También en la figura 20c se observa que los grupos M3, M4, H3, H4 y H5 que contienen harinas de nopal o HEOo como fuente de fibra, el coeficiente de hígado es menor comparado con el grupo H1 (dieta hipercalórica), los mismos resultados fueron observados en las ratas que experimentaron de Héliès-Toussaint et al., (2020) al ofrecer dietas adicionadas con 5% de harinas de nopales de *O. streptacantha* y/o *O. ficus indica* comparadas con dietas altas en grasa.

Héliès-Toussaint et al., (2020) mencionan que la esteatosis hepática o hígado graso está asociada con la obesidad y esta contribuye al síndrome metabólico donde aparte del hígado son afectados otros órganos vitales como corazón y riñones. En la figura 20a, 20b y 20d se observa que las ratas alimentadas con dieta hipercalórica (H1) tienen un porcentaje del coeficiente del corazón, testículos y riñones de 0.20 %, 0.91 % y 0.80 % y los valores aumentan significativamente a 0.37 %, 0.97 % y 0.82 %, respectivamente en las ratas alimentadas con dieta hipercalórica adicionada un snack cárnico alto en grasa (28 %) (H2),

pero cuando se compara con las ratas alimentadas con dieta hipercalórica adicionada con snack cárnico con HEOo los porcentajes de coeficiente del corazón, testículos y riñones respectivamente son 0.28%, 0.82% y 0.83% menores o sin diferencia significativa que el grupo H2, lo que indica un efecto preventivo de la HEOo sobre el tamaño de los órganos. En este experimento el porcentaje del coeficiente de los riñones es de 0.80% en las ratas alimentadas con dieta hipercalórica (H1), pero menor en las ratas alimentadas con dieta hipercalórica adicionada con HEOo (H5) (0.73%), es decir la HEOo tiene un efecto reductor en el peso del riñón sin tener una diferencia significativa con las ratas alimentadas con dieta hipercalórica adicionada con harina de nopal (H3) (0.71%), pero el efecto de la adición de harina de nopal en una dieta de mantenimiento muestra un porcentaje mayor en el coeficiente del riñón (M3) (0.77%), lo que se deduce que el efecto de una harina sobre el porcentaje del coeficiente de un órgano depende de la especie de la harina y de la dosis administrada a las ratas, y esto concuerda con lo que reportan Hahm et al. (2011) quienes mencionan que el coeficiente del riñón es mayor en las ratas tratadas con harina de nopal *Opuntia humifusa* comparado con su grupo control, pero comparando entre sus grupos en tratamiento con dosis graduales de harina por vía oral, concluyen al aumentar la dosis de harina disminuye el porcentaje del coeficiente del riñón.

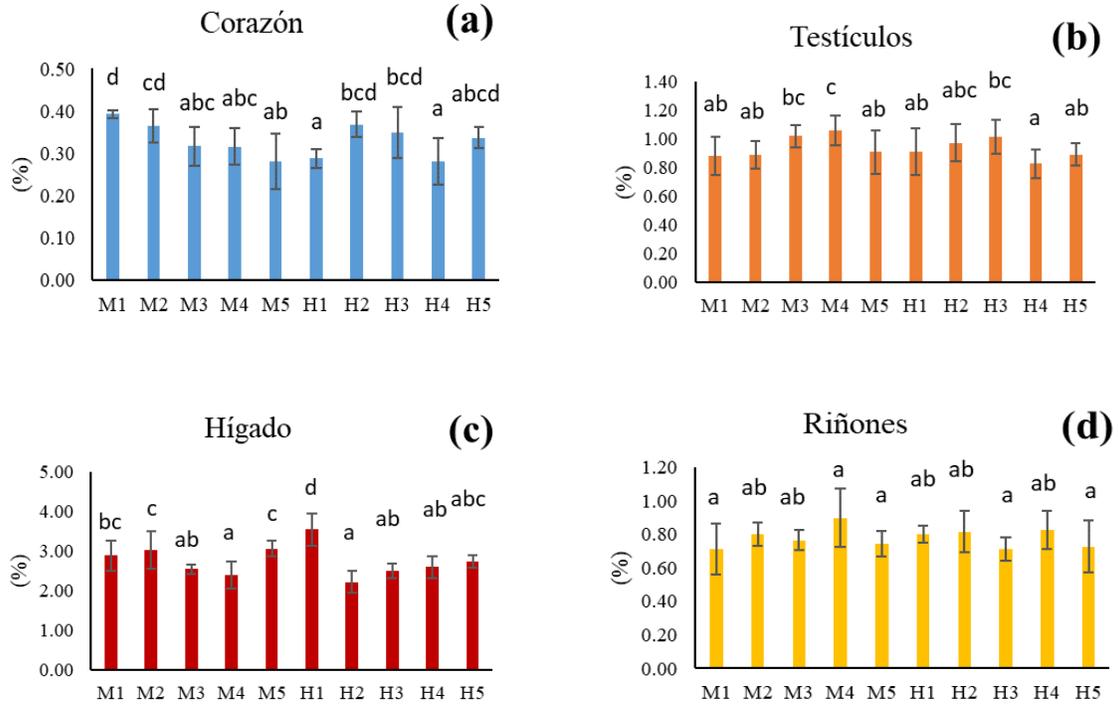


Figura 20. Coeficiente de órganos de ratas en diferentes grupos. (a), coeficiente del corazón; (b), coeficiente de los dos testículos, c, coeficiente del hígado y (d), coeficiente de los dos riñones. M1:DM, M2:DM+snack sin HEOo, M3: DM+harina de nopal, M4: DM + snack 25; M5: DM+HEOo, H1: DH, H2:DH+snack sin HEOo, H3: DH+harina de nopal, H4: DH +snack 25; H5:DH+HEOo. DM=Dieta de mantenimiento; DH= Dieta hipercalórica; HEOo= Harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*; Snack 25: Snack con 7% de HEOo y 21.06% de grasa. Los resultados son expresados como promedio \pm desviación estándar, n=5. Los valores con diferente letra en superíndice entre grupos son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

7. CONCLUSIONES.

La harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* tiene importantes propiedades fisicoquímicas, nutricionales, tecnológicas y antioxidantes para el área de los alimentos. El endocarpio es considerado principalmente un residuo del fruto, por lo que casi no ha sido estudiado. Nuestros resultados muestran que la harina tiene bajos valores de aw y humedad que pueden aumentar su periodo de conservación, además tiene un pH ácido que puede prevenir el crecimiento de microorganismos. Debido a la baja cantidad de grasa y alta cantidad de fibra dietética, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* puede ser usada en la preparación de los alimentos dietéticos. Por otro lado, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* presenta valores altos de solubilidad en agua, actividad y estabilidad de emulsión; estas propiedades son un potencial para modificar la textura de los alimentos por sus propiedades de hidratación, además una absorción de aceite baja recomendable en alimentos bajos en grasa. La harina de endocarpio de *O. oligacantha* tiene importante actividad antioxidante lo que puede mejorar la vida de anaquel de los productos y favorecer la salud del consumidor; ya que fue capaz de reducir el peso y colesterol aun en dietas hipocalóricas en ratas obesas inducidas por dietas con alta densidad energética.

En este estudio se demuestra que la adición de harina de endocarpio de *O. La oligacantha* a los snacks de carne no afecta el rendimiento del producto hasta el momento del empaque al vacío. Esto representa una ventaja significativa para la industria cárnica, ya que no se espera una reducción en el producto final debido al uso de esta harina en comparación con los snacks de control que no la contienen.

Los snacks con un contenido del 14% y 21% de harina mostraron niveles más bajos de grasa y una mayor humedad en comparación con el control. Además, fue posible obtener un producto con hasta cinco veces más fibra en el caso del snack con un 7% de harina, en comparación con el control. Desde el punto de vista tecnológico, los tratamientos con harina de endocarpio de *O. oligacantha* mostraron una capacidad superior para retener agua y aceite. El análisis de perfil de textura reveló que los snacks con harina eran más duros, indicando una mayor cohesión de los ingredientes de la masa cárnica cuando se agregó un 14% o 21% de harina.

Por otro lado, los inóculos de bacterias lácticas (BAL) se mantuvieron estables cuando se añadió un 7% o 21% de harina de endocarpio de *O. oligacantha*. Finalmente, la evaluación sensorial indicó que la adición del 7% de harina permitió un nivel de aceptación del producto similar al del control.

Estos resultados sugieren que la harina de endocarpio de *O. oligacantha* puede ser utilizada como un sustituto parcial eficaz de la grasa de origen animal para desarrollar productos cárnicos fermentados que sean más saludables.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- Abbasi, E., Sarteshnizi, R. A., Gavlighi, H. A., Nikoo, M., Azizi, M. H., & Sadeghinejad, N. (2019). Effect of partial replacement of fat with added water and tragacanth gum (*Astragalus gossypinus* and *Astragalus compactus*) on the physicochemical, texture, oxidative stability, and sensory property of reduced fat emulsion type sausage. *Meat Science*, 147, 135-143.
- Acevedo, B. A., Avanza, M. V., Cháves, M. G., & Ronda, F. (2013). Gelation, thermal and pasting properties of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.), dolichos bean (*Dolichos lablab* L.) and jack bean (*Canavalia ensiformis*) flours. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 65-71.
- Acuña Idrogo, I. H. (2018). *Tecnología de la carne y productos cárnicos*.
- Ahmad, I., Finkelstein, J. A., Downs, T. R., & Frohman, L. A. (1993). Obesity-associated decrease in growth hormone-releasing hormone gene expression: a mechanism for reduced growth hormone mRNA levels in genetically obese Zucker rats. *Neuroendocrinology*, 58(3), 332-337.
- Almaráz-Buendía, I., Hernández-Escalona, A., González-Tenorio, R., Santos-Ordoñez, N., Espino-García, J. J., Martínez-Juárez, V., Meza-Nieto, M. A., & Campos Montiel, R. G. (2019). Producing an emulsified meat system by partially substituting pig fat with nanoemulsions that contain antioxidant compounds: The effect on oxidative stability, nutritional contribution, and texture profile. *Foods*, 8(9), 357.
- Al-Marazeeq, K., Al-Rousan, W., Taha, S., & Osaili, T. (2023). The influence of cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) cladodes powder on improving the characteristics and shelf life of low-fat beef and chicken burgers. *Food Science and Technology*, 43.

- Álvarez-Castro, N. V., Corrales-García, J., Hernández-Montes, A., del Rosario García-Mateos, M., Peña-Valdivia, C. B., & Quiroz-González, B. (2014). Development of a snack from xoconostle (*Opuntia matudae* Scheinvar) sweetened with neotame and its antioxidant capacity. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 16, 15-31.
- Amaya-Cruz, D. M., Perez-Ramirez, I. F., Ortega-Diaz, D., Rodriguez-Garcia, M. E., & Reynoso-Camacho, R., (2018). Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) by-product as functional ingredient: effect of thermal processing and particle size reduction on bioactive constituents and functional, morphological, and structural properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(1), 135-144.
- Aminzare, M., Moniri, R., Hassanzad Azar, H., & Mehrasbi, M. R. (2022). Evaluation of antioxidant and antibacterial interactions between resveratrol and eugenol in carboxymethyl cellulose biodegradable film. *Food Science & Nutrition*, 10(1), 155-168.
- Arias-Rico, J., Cruz-Cansino, N. D. S., Cámara-Hurtado, M., López-Froilán, R., Pérez-Rodríguez, M. L., Sánchez-Mata, M. D. C., Jaramillo-Morales, O.A.; Barrera-Gálvez, R., & Ramírez-Moreno, E. (2020). Study of xoconostle (*Opuntia* spp.) powder as a source of dietary fiber and antioxidants. *Foods*, 9(4), 403.
- Arredondo Nontién, M. (2022). *Uso de oleogel como sustitutos de grasa en productos cárnicos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Asgar, M. A., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R., & Karim, A. A. (2010). Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(5), 513-529.
- Asmare, H., & Admassu, S. (2013). Development and evaluation of dry fermented sausages processed from blends of chickpea flour and beef. *East African Journal of Sciences*, 7(1), 17-30.

- Asociación Nacional de Establecimientos TIF (ANETIF). (2021). Inicio. ANETIF. <https://www.anetif.org/>
- Asouzu, A. I., Oly-Alawuba, N. M., & Umerah, N. N. (2020). Functional Properties and Chemical Composition of Composite Flour Made from Cooking Banana (*Musa Paradisiaca*) and Yellow Maize (*Zea Mays*). *Research Journal of Food and Nutrition*, 4(2), 6-12.
- Association of Official Agricultural Chemists, & Horwitz, W. (1975). *Official methods of analysis* (Vol. 222). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Ayadi, M. A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., & Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 40-47.
- Bahelka, I., Bučko, O., Hozáková, K., Stupka, R., Čítek, J., Hanusová, E., & Gondeková, M. (2020). Amino and fatty acid profile, chemical composition and pork quality in entire males, castrates and gilts. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 23(3)167–173.
- Banerjee, D. K., Das, A. K., Banerjee, R., Pateiro, M., Nanda, P. K., Gadekar, Y. P., Biswas, S., McClements, D.J., & Lorenzo, J. M. (2020). Application of enoki mushroom (*Flammulina Velutipes*) stem wastes as functional ingredients in goat meat nuggets. *Foods*, 9(4), 432.
- Barragán-Martínez, L. P., Totosaus, A., & de Lourdes Pérez-Chabela, M. (2020). Probiotication of cooked sausages employing agroindustrial coproducts as prebiotic co-encapsulant in ionotropic alginate–pectin gels. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(3), 1088-1096.
- Batu, W., Getahun, D., & Abreha, G. (2018). Physicochemical and Functional Properties of Cactus ‘*Opuntia ficus-indica* L.’Muller Flour: The Case of Cactus Fruit and Vegetable Flour. *Journal of Science and Sustainable Development*, 6(1), 51-70.

- Bernardino-Nicanor, A., Mancera-Castro, P., Ramirez-Ortiz, M. E., Acosta-Garcia, G., & Gonzalez-Cruz, L. (2021). Quality of the parenchymatous tissue of Opuntia and its use in the development of set yogurt. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100344.
- Bianco, H. W., Capote, T., & Garmendia, C. (2014). Determinación de humedad en harina precocida de maíz blanco utilizando un horno de microondas doméstico. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 45(2), 50-63.
- Bis-Souza, C. V., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Penna, A. B., & Barretto, A. C. S. (2019). New strategies for the development of innovative fermented meat products: a review regarding the incorporation of probiotics and dietary fibers. *Food Reviews International*, 35(5), 467-484.
- Blanco Metzler, A., Madriz Morales, K., Ramos, E., & del Corazón, F. I. (2020). El desafío de reducir el consumo de sal/sodio en la dieta de la población latinoamericana. *Bodner, J. M., & Sieg, J. (2009). Fiber. Ingredients in meat products: Properties, functionality and applications*, 83-109.
- Bozkurt, H., & Belibağlı, B. K. (2016). Sucuk: Turkish Dry-Fermented Sausage. *Handbook of Animal-Based Fermented Food and Beverage Technology*, 663-684.
- Campos-Montiel, R. G., Santos-Ordoñez, N., Almaraz-Buendía, I., Aguirre-Álvarez, G., Espino-García, J. J., Ludeña-Urquizo, F. E., Gonzalez-Tenorio R., Pérez-Soto E., & Cenobio-Galindo, A. D. J. (2021). Impact of incorporating double emulsions with bioactive compounds of acid cactus fruits in emulsified meat products during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, e15477.
- Campos-Nonato, I., Galván-Valencia, Ó., Hernández-Barrera, L., Oviedo-Solís, C., & Barquera, S. (2023). Prevalencia de obesidad y factores de riesgo asociados en adultos mexicanos: resultados de la Ensanut 2022. *Salud pública de México*, 65, s238-s247.

- Cárdenas Y, Ríos-Silva M, Huerta M, López M, Bricio-Barrios J, Ortiz-Mesina M, Urzúa Z, Saavedra-Molina A, Trujillo X. The Comparative Effect of Nopal and Mucilage in Metabolic Parameters in Rats with a High-Fructose Diet. *J Med Food*. 2019 May;22(5):538-541.
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 13(4), 377-399.
- Cenobio-Galindo, A. D. J., Díaz-Monroy, G., Medina-Pérez, G., Franco-Fernández, M. J., Ludeña-Urquiza, F. E., Veyra-Alberto, R., & Campos-Montiel, R. G. (2019b). Multiple emulsions with extracts of cactus pear added in a yogurt: Antioxidant activity, in vitro simulated digestion and shelf life. *Foods*, 8(10), 429.
- Cenobio-Galindo, A. D. J., Ocampo-López, J., Reyes-Munguía, A., Carrillo-Inungaray, M. L., Cawood, M., Medina-Pérez, G., Fernández-Luqueño F., & Campos-Montiel, R. G. (2019a). Influence of bioactive compounds incorporated in a nanoemulsion as coating on avocado fruits (*Persea americana*) during postharvest storage: Antioxidant activity, physicochemical changes and structural evaluation. *Antioxidants*, 8(10), 500.
- Cenobio-Galindo, A. D. J., Pimentel-González, D. J., Del Razo-Rodríguez, O. E., Medina-Pérez, G., Carrillo-Inungaray, M. L., Reyes-Munguía, A., & Campos-Montiel, R. G. (2019c). Antioxidant and antibacterial activities of a starch film with bioextracts microencapsulated from cactus fruits (*Opuntia oligacantha*). *Food Science and Biotechnology*, 28, 1553-1561.
- Cerón, M., López, E. M. S., Ortega, I. S., Vargas, E. R., Ávila, J. A. R., & Ortega, I. S. I. (2020). Hongos comestibles: Una alternativa saludable en productos cárnicos. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 7(14), 47-51.

- Cerón-Guevara, M. I., Rangel-Vargas, E., Lorenzo, J. M., Bermúdez, R., Pateiro, M., Rodríguez, J. A., Sánchez-Ortega, I., & Santos, E. M. (2020). Reduction of Salt and Fat in Frankfurter Sausages by Addition of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* Flour. *Foods*, 9(6), 760.
- Cerón-Guevara, M. I., Rangel-Vargas, E., Lorenzo, J. M., Bermúdez, R., Pateiro, M., Rodríguez, J. A., Sánchez-Ortega I., & Santos, E. M. (2019). Effect of the addition of edible mushroom flours (*Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*) on physicochemical and sensory properties of cold-stored beef patties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3), e14351.
- Cheung, P. C. K., & Mehta, B. M. (Eds.). (2015). *Handbook of food chemistry* (Vol. 11). Springer Berlin Heidelberg.
- Cobos, A., & Díaz, O. (2015). Chemical composition of meat and meat products. *Handbook of food chemistry*, 1, 471-510.
- Colmenero, F. J., & Santaolalla, J. C. (1989). *Principios básicos de elaboración de embutidos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Servicio de Extensión Agraria.
- Consejo Mexicano de la Carne. (2024). *Compendio estadístico 2024*. Consejo Mexicano de la Carne. <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2024/>
- Cota-Sanchez, J. H. (2016). Nutritional Composition of the Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) Fruit. *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, 691-712.
- Cysneiros, G. F., Gonzalez, J. L. C., Marcelino da Silva, A. A., Cavalcante, T. C. F., Quevedo, O. G., Lira, E. C., Soares, J. K., Franco, E. d. S., do Nascimento, E. and Flores, H. E. F. M. (2019). The addition of cactus flour (*Opuntia ficus indica*) to the Western-style diet attenuates the onset of metabolic disorders in rats. *Nutrition & Food Science*, 49(4), 564-579.

- Da Silva, S. L., Amaral, J. T., Ribeiro, M., Sebastião, E. E., Vargas, C., de Lima Franzen, F., Schneider, G., Lorenzo, J. M., Martins Fries, L. C., Cichoski, A. J., & Campagnol, P. C. B. (2019). Fat replacement by oleogel rich in oleic acid and its impact on the technological, nutritional, oxidative, and sensory properties of Bologna-type sausages. *Meat science*, 149, 141-148.
- Dantas, T. L., Alonso Buriti, F. C., & Florentino, E. R. (2021). Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) as a potential functional food source of mucilage and bioactive compounds with technological applications and health benefits. *Plants*, 10(8), 1683.
- Das, A. K., Nanda, P. K., Madane, P., Biswas, S., Das, A., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2020). A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 323-336.
- Davies, J. M. (1990). Meat-based Snack Foods. *Snack Food*, 205-224.
- Dávila-Hernández, G., Sánchez-Pardo, M. E., Gutiérrez-López, G. F., Necochea-Mondragón, H., & Ortiz-Moreno, A. (2019). Effect of microwave pretreatment on bioactive compounds extraction from xoconostle (*Opuntia joconostle*) by-products. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(1), 191-204.
- De Andrade, L. S., Sarda, F. A. H., Pereira, N. B. F., Teixeira, R. R., Rodrigues, S. D., de Lima, J. D., Dalboni, M.A., Aoike, D.T., Nakao, L.S., & Cuppari, L. (2021). Effect of unripe banana flour on gut-derived uremic toxins in individuals undergoing peritoneal dialysis: a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover trial. *Nutrients*, 13(2), 646.
- Díaz-Vela, J., Totosaús, A., Pérez-Chabela, M. L. (2015). Integration of Agroindustrial Co-Products as Functional Food Ingredients: Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) Flour and Pineapple (*Ananas comosus*) Peel Flour as Fiber Source in Cooked Sausages Inoculated with Lactic Acid Bacteria. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2630-2638.

- Díaz-Vela, J., Totosaus, A., Escalona-Buendía, H. B., & Pérez-Chabela, M. L. (2017). Influence of the fiber from agro-industrial co-products as functional food ingredient on the acceptance, neophobia and sensory characteristics of cooked sausages. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 379-385.
- Dick, M., Limberger, C., Thys, R. C. S., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2020). Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten-free crackers. *Food Chemistry*, 314, 126178.
- Diego-Zarate, L. M., Méndez-Zamora, G., Alba, R. D., Abigail, J., & Flores-Girón, E. (2021). Efecto del nopal (*Opuntia spp*) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena. *Biotecnia*, 23(2), 89-95.
- Du Toit, A., De Wit, M., Fouché, H. J., Taljaard, M., Venter, S. L., & Hugo, A. (2019). Mucilage powder from cactus pears as functional ingredient: influence of cultivar and harvest month on the physicochemical and technological properties. *Journal of food science and technology*, 56(5), 2404-2416.
- Du, J., Dai, H., Wang, H., Yu, Y., Zhu, H., Fu, Y., Ma, L., Peng, L., Li, L., Wang Q., & Zhang, Y. (2021). Preparation of high thermal stability gelatin emulsion and its application in 3D printing. *Food Hydrocolloids*, 113, 106536.
- Eim, V. S., García-Pérez, J. V., Rosselló, C., Femenia, A., & Simal, S. (2012). Influence of the addition of dietary fiber on the drying curves and microstructure of a dry fermented sausage (Sobrassada). *Drying Technology*, 30(2), 146-153.
- Eisinaite, V., Vinauskiene, R., Viskelis, P., & Leskauskaite, D. (2016). Effects of Freeze-Dried Vegetable Products on the Technological Process and the Quality of Dry Fermented Sausages. *Journal of food science*, 81(9), C2175-C2182.
- Farré, R. (2019). Consumo de carne y cáncer. *Investigación y ciencia*, 50.
- Fernández, E. L. (2007). Alimentos funcionales y nutraceuticos. *Sociedad Española de Cardiología*.

- Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2008). Physico-chemical and microbiological profiles of “salchichón” (Spanish dry-fermented sausage) enriched with orange fiber. *Meat science*, 80(2), 410-417.
- Fernández-Luqueño, F., Medina-Pérez, G., Pérez-Soto, E., Espino-Manzano, S., Peralta-Adauto, L., Pérez-Ríos, S., & Campos-Montiel, R. (2021). Bioactive Compounds of *Opuntia* spp. Acid Fruits: Micro and Nano-Emulsified Extracts and Applications in Nutraceutical Foods. *Molecules*, 26(21), 6429.
- Ferreira, I. C., Barakat, B., Almeida, M. E. F. D., Ferreira, K. L., & Ramos, J. A. D. S. C. (2024). Morphometric parameters and adipose tissue mass of rats fed with cactaceae flour. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 46, e62073.
- Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of food composition and analysis*, 24(7), 1043-1048.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). FAO's Statistical Yearbook for 2022 goes live. FAO. <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-s-statistical-yearbook-for-2022-goes-live/es>
- Franco, D., Martins, A. J., López-Pedrouso, M., Cerqueira, M. A., Purriños, L., Pastrana, L. M., Vicente, A. A., Zapata, C., & Lorenzo, J. M. (2020). Evaluation of linseed oil oleogels to partially replace pork backfat in fermented sausages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 218-224.
- García-Béjar, B., Sánchez-Carabias, D., Alarcon, M., Arévalo-Villena, M., & Briones, A. (2020). Autochthonous yeast from pork and game meat fermented sausages for application in meat protection and aroma developing. *Animals*, 10(12), 2340.

- Giglio, R. V., Carruba, G., Cicero, A. F., Banach, M., Patti, A. M., Nikolic, D., Cocciadiferro, L., Zarccone, M., Montalt, G., Stoian, A. P., Banerjee, Y., Rizvi, A. A., Toth, P. P., & Rizzo, M. (2020). Pasta supplemented with *Opuntia ficus-indica* extract improves metabolic parameters and reduces atherogenic small dense low-density lipoproteins in patients with risk factors for the metabolic syndrome: A four-week intervention study. *Metabolites*, *10*(11), 428.
- Gómez-Maqueo, A., Escobedo-Avellaneda, Z., & Welti-Chanes, J. (2020). Phenolic Compounds in Mesoamerican Fruits—Characterization, Health Potential and Processing with Innovative Technologies. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(21), 8357.
- Guimarães, R. M., Ida, E. I., Falcao, H. G., de Rezende, T. A. M., de Santana Silva, J., Alves, C. C. F., da Silva, M. A. P., & Egea, M. B. (2020). Evaluating technological quality of okara flours obtained by different drying processes. *LWT*, *123*, 109062.
- Guzmán-Maldonado, S. H., Morales-Montelongo, A. L., Mondragón-Jacobo, C., Herrera-Hernández, G., Guevara-Lara, F., & Reynoso-Camacho, R. (2010). Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México Region. *Journal of Food Science*, *75*(6), C485-C492.
- Hahm, S. W., Park, J., & Son, Y. S. (2011). *Opuntia humifusa* stems lower blood glucose and cholesterol levels in streptozotocin-induced diabetic rats. *Nutrition Research*, *31*(6), 479-487.
- Hansen C., (2003). Manual cárnico bactoferm. Producción de embutidos fermentados con cultivos starter. Alemania. Vol. I.
- Hayek, S. A., & Ibrahim, S. A. (2012). Antimicrobial activity of xoconostle pears (*Opuntia matudae*) against *Escherichia coli* O157: H7 in laboratory medium. *International Journal of Microbiology*, 2012.

- Héliès-Toussaint, C., Fouché, E., Naud, N., Blas-Y-Estrada, F., del Socorro Santos-Diaz, M., Nègre-Salvayre, A., de la Rosa, A. P. B., & Guéraud, F. (2020). Opuntia cladode powders inhibit adipogenesis in 3 T3-F442A adipocytes and a high-fat-diet rat model by modifying metabolic parameters and favouring faecal fat excretion. *BMC complementary medicine and therapies*, 20, 1-12.
- Henriques, H. N., Câmara, N. R., Carvalho, A. C. B. D., Pantaleão, J. A. S., & Guzmán-Silva, M. A. (2010). Efeito de doses elevadas de tibolona sobre o peso corporal e perfil lipídico de ratas ooforectomizadas. *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*, 32, 88-93.
- Hernández-Fuentes, A. D., Trapala-Islas, A., Gallegos-Vásquez, C., Campos-Montiel, R. G., Pinedo-Espinoza, J. M., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2015). Physicochemical variability and nutritional and functional characteristics of xoconostles (*Opuntia* spp.) accessions from Mexico. *Fruits*, 70(2), 109-116.
- Husain, H., & Huda-Faujan, N. (2020). Potential application of grey oyster mushroom stems as halal meat replacer in imitation chicken nuggets. *Food Res*, 4(1), 179-186.
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018: Presentación de resultados. Retrieved from https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf.
- Jeong, Y., & Han, Y. (2019). Effect on the Emulsification Stability and Quality of Emulsified Sausages Added with Wanggasi-Chunyuncho (*Opuntia humifusa* f. *jeollaensis*) Fruit Powders. *Food Science of Animal Resources*, 39(6), 953-965.
- Jiao, Y., & Wang, Y. (2018). The effects of sweeteners and sweetness enhancers on obesity and diabetes: A review. *Journal of Food Bioactives*, 4, 107-116.
- Kalegowda, P., Chauhan, A. S., & Urs, S. M. N. (2017). *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw cladode mucilage: Physico-chemical, rheological and functional behavior. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1057-1064.

- Karwowska, M., & Kononiuk, A. (2020). Nitrates/nitrites in food—Risk for nitrosative stress and benefits. *Antioxidants*, 9(3), 241.
- Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food chemistry*, 91(3), 403-411.
- Keyata, E. O., Tola, Y. B., Bultosa, G., & Forsido, S. F. (2020). Proximate, mineral, and anti-nutrient compositions of underutilized plants of Ethiopia: Figl (*Raphanus sativus* L.), Girgir (*Eruca sativa* L) and Karkade (*Hibiscus sabdariffa*): Implications for in-vitro mineral bioavailability. *Food Research International*, 137, 109724.
- Kim, S. M., Kim, H. W., & Park, H. J. (2021). Preparation and characterization of surimi-based imitation crab meat using coaxial extrusion three-dimensional food printing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 71, 102711.
- Kurt, A., & Genççelep, H. (2018). Enrichment of meat emulsion with mushroom (*Agaricus bisporus*) powder: Impact on rheological and structural characteristics. *Journal of Food Engineering*, 237, 128-136.
- Lopera-Cardona, S., Gallardo, C., Umaña-Gallego, J., & Gil, L. M. (2016). Comparative study of the physicochemical, compositional and functional properties of eight flours obtained from different plant materials found in Colombia. *Food Science and Technology International*, 22(8), 699-707.
- López-Pedrouso, M., Lorenzo, J. M., Gullón, B., Campagnol, P. C. B., & Franco, D. (2021). Novel strategy for developing healthy meat products replacing saturated fat with oleogels. *Current Opinion in Food Science*, 40, 40-45.
- Maray, A. R., Mostafa, M. K., & El-Fakhrany, A. E. D. M. (2018). Effect of pretreatments and drying methods on physico-chemical, sensory characteristics and nutritional value of oyster mushroom. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13352.

- Medina, E. D., Rodríguez, E. R., & Romero, C. D. (2007). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food chemistry*, 103(1), 38-45.
- Medina-Pérez, G., Estefes-Duarte, J.A., Afanador-Barajas, L. N., Fernández-Luqueño, F., Zepeda-Velásquez, A. P., Franco-Fernández, M. J., Peláez-Acero, A., & Campos-Montiel, R. G. (2020). Encapsulation preserves antioxidant and antidiabetic activities of cactus acid fruit bioactive compounds under simulated digestion conditions. *Molecules*, 25(23), 5736.
- Medina-Pérez, G., Peralta-Adauto, L., Afanador-Barajas, L., Fernández-Luqueño, F., Pérez-Soto, E., Campos-Montiel, R., & Peláez-Acero, A. (2021). Inhibition of Urease, Elastase, and β -Glucuronidase Enzymatic Activity by Applying Aqueous Extracts of *Opuntia oligacantha* CF Först Acid Fruits: In Vitro Essay under Simulated Digestive Conditions. *Applied Sciences*, 11(16), 7705.
- Merenkova, S. P., Zinina, O. V., Stuart, M., Okuskhanova, E. K., & Androsova, N. V. (2020). Effects of dietary fiber on human health: A review. *Человек. Спорт. Медицина*, 20(1), 106-113. Mirhosseini, M., & Arjmand, V. (2014). Reducing pathogens by using zinc oxide nanoparticles and acetic acid in sheep meat. *Journal of food protection*, 77(9), 1559-1564.
- Mohammed, A. S., Anmut, G., Urge, M., & Assefa, G. (2020). Grazing behavior, dietary value and performance of sheep, goats, cattle and camels co-grazing range with mixed species of grazing and browsing plants. *Veterinary and Animal Science*, 10, 100154.
- Monteiro, G. C., Minatel, I. O., Junior, A. P., Gomez-Gomez, H. A., de Camargo, J. P. C., Diamante, M. S., Pereira-Basilio., Marco, T, A; & Lima, G. P. P. (2021). Bioactive compounds and antioxidant capacity of grape pomace flours. *LWT*, 135, 110053.
- Morales, P., Barros, L., Ramírez-Moreno, E., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2015). Xoconostle fruit (*Opuntia matudae* Scheinvar cv. Rosa) by-products as potential functional ingredients. *Food chemistry*, 185, 289-297.

- Morales, P., Barros, L., Ramírez-Moreno, E., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2014). Exploring xoconostle by-products as sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 65, 437-444.
- Morales, P., Ramírez-Moreno, E., de Cortes Sánchez-Mata, M., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. (2012). Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* FAC Weber ex Diguet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. *Food Research International*, 46(1), 279-285.
- Morales-Martínez, Y., Rocío López-Cuellar, M., Chavarría-Hernández, N., & Rodríguez-Hernández, A. I. (2018). Rheological behaviour of acetylated pectins from cactus pear fruits (*Opuntia albicarpa* and *O. matudae*). *Food Hydrocolloids*, 85, 110-119.
- Morales-Tapia, A. A., González-Jiménez, F. E., Vivar-Vera, G., Del Ángel-Zumaya, J. A., Reyes-Reyes, M., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Guzmán, J. (2022) Use of freeze-drying and convection as drying methods of the xoconostle by-product and the effect on its antioxidant properties Uso de la liofilización y la convección como métodos de secado del subproducto del xoconostle y el efecto sobre sus propiedades antioxidantes.
- Moreira, D. K. T., Santos, P. S., Gambero, A., & Macedo, G. A. (2017). Evaluation of structured lipids with behenic acid in the prevention of obesity. *Food research international*, 95, 52-58.
- Morin, L. A., Temelli, F., & McMullen, L. (2004). Interactions between meat proteins and barley (*Hordeum* spp.) β -glucan within a reduced-fat breakfast sausage system. *Meat science*, 68(3), 419-430.
- Mukund, K., & Subramaniam, S. (2020). Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine*, 12(1), e1462.

- Nagarani, G., Abirami, A., & Siddhuraju, P. (2014). Food prospects and nutraceutical attributes of *Momordica* species: a potential tropical bioresources—a review. *Food Science and Human Wellness*, 3(3-4), 117-126.
- Noboa, E. C., Espinoza, A. C., Morejon, J. P. A., & Escobar, K. Y. R. (2023). Sustitución parcial de cloruro de sodio (NaCl) por cloruro de potasio (KCl) y su efecto en la elaboración de salchicha de pollo. *Revista Ciencia y Tecnología*, 16(1), 77-85.
- Novaković, S., Djekic, I., Pešić, M., Kostić, A., Milinčić, D., Stanisavljević, N., Radojević, A., & Tomasevic, I. (2021). Bee pollen powder as a functional ingredient in frankfurters. *Meat Science*, 182, 108621.
- Nyam, K. L., Leao, S. Y., Tan, C. P., & Long, K. (2014). Functional properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed and its application as bakery product. *Journal of food science and technology*, 51(12), 3830-3837.
- Ocampo-Olalde, R., Delgado-Suárez, E. J., & Gutiérrez-Pabello, J. Á. (2015). Cactus pear peel flour as a fiber source and its effect on physicochemical and sensory characteristics of low fat-sodium reduced-sausages. *Nacameh*, 9(2), 54-65. Dialnet-Harina DeCascaraDeTunaComoFuenteDeFibraYSuEfectoSob-6020407 (1).pdf
- OECD/Organisation for Economic Cooperation and Development. 2001. OECD Guideline for testing of chemicals: Acute oral toxicity-Acute Toxic Class Method. 1-14.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Informe sobre la salud en el mundo 2016. Organización Mundial de la Salud.
- Ortíz García, D. J., & Meléndez Cruz, M. A. (2021). Ejercicio profesional supervisado" Manual de elaboración de derivados cárnicos".
- Osorio-Esquivel, O., Ortiz-Moreno, A., Garduño-Siciliano, L., Álvarez, V. B., & Hernández-Navarro, M. D. (2012). Antihyperlipidemic Effect of Methanolic Extract from *Opuntia joconostle* Seeds in Mice Fed a Hypercholesterolemic Diet. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(4), 365–370.

- Pacheco Pérez, W. A., Restrepo Molina, D. A., & Sepúlveda Valencia, J. U. (2011). Revisión: uso de ingredientes no cárnicos como reemplazantes de grasa en derivados cárnicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(2), 6257-6264.
- Paiz, R. C., Juárez-Flores, B. I., Cecilia, J. R. A. R. N., Ortega, C., Aguuml, J. A. R., Chávez, E. G., & Fuentes, G. Á. (2010). Glucose-lowering effect of xoconostle (*Opuntia joconostle* A. Web., Cactaceae) in diabetic rats. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(22), 2326-2333.
- Parafati, L., Restuccia, C., Palmeri, R., Fallico, B., & Arena, E. (2020). Characterization of prickly pear peel flour as a bioactive and functional ingredient in bread preparation. *Foods*, 9(9), 1189.
- Patel, A. R. (2020). Functional and engineered colloids from edible materials for emerging applications in designing the food of the future. *Advanced Functional Materials*, 30(18), 1806809.
- Pérez-Soto, E., Cenobio-Galindo, A. D. J., Espino-Manzano, S. O., Franco-Fernández, M. J., Ludeña-Urquizo, F. E., Jiménez-Alvarado, R., Zepeda-Velázquez, A. P., & Campos-Montiel, R. G. (2021). The Addition of Microencapsulated or Nanoemulsified Bioactive Compounds Influences the Antioxidant and Antimicrobial Activities of a Fresh Cheese. *Molecules*, 26(8), 2170.
- Pimienta-Barrios, E., Méndez-Morán, L., Ramírez-Hernández, B. C., García de Alba-García, J. E., & Domínguez-Arias, R. M. (2008). Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia*, 42(6), 645-653.
- Pimiento Fonseca, K. L., Varela Velásquez, P. A., & Velandia Parra, D. A. (2023). Productos y subproductos cárnicos: principales aditivos y sus efectos en la salud humana. Revisión sistemática de literatura.

- Pino, J. A., & Aragüez, Y. (2021). Conocimientos actuales acerca de la encapsulación de aceites esenciales. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 52(1), 10-25. Pintado, T., & Delgado-Pando, G. (2020). Towards more sustainable meat products: Extenders as a way of reducing meat content. *Foods*, 9(8), 1044.
- Pogorzelska-Nowicka, E., Atanasov, A. G., Horbańczuk, J., & Wierzbicka, A. (2018). Bioactive compounds in functional meat products. *Molecules*, 23(2), 307.
- Quintero-García, M., Gutiérrez-Cortez, E., Bah, M., Rojas-Molina, A., Cornejo-Villegas, M. D. L. A., Del Real, A., & Rojas-Molina, I. (2021). Comparative analysis of the chemical composition and physicochemical properties of the mucilage extracted from fresh and dehydrated *Opuntia ficus indica* cladodes. *Foods*, 10(9), 2137.
- Ramírez-Rodríguez, Y., Martínez-Huélamo, M., Pedraza-Chaverri, J., Ramírez, V., Martínez-Tagüeña, N., & Trujillo, J. (2020). Ethnobotanical, nutritional and medicinal properties of Mexican drylands Cactaceae Fruits: Recent findings and research opportunities. *Food chemistry*, 312, 126073.
- Reyes-Agüero JA, Aguirre RJR, Valiente-Banuet A. 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: a review. *J Arid Environ* 64:549–85.
- Rhees, B. K., & Atchley, W. R. (2000). Body weight and tail length divergence in mice selected for rate of development. *Journal of Experimental Zoology*, 288(2), 151-164.
- Roehrig K. 1988. The physiological effects of dietary fiber: a review. *Food Hydrocolloids* 2:1–17.
- Rouhani, M. H., Salehi-Abargouei, A., Surkan, P. J., & Azadbakht, L. J. O. R. (2014). Is there a relationship between red or processed meat intake and obesity? A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Obesity Reviews*, 15(9), 740-748.

- Ruiz-Cota, P., Bacardí-Gascón, M., & Jiménez-Cruz, A. (2019). Historia, tendencias y causas de la obesidad en México. *Journal of Negative and No Positive Results*, 4(7), 737-745.
- Sakai, K., Sato, Y., Okada, M., & Yamaguchi, S. (2021). Improved functional properties of meat analogs by laccase catalyzed protein and pectin crosslinks. *Scientific Reports*, 11(1), 16631.
- Sams, A. R. (1999). Meat quality during processing. *Poultry Science*, 78(5), 798-803.
- Secretaría de Salud. (1994). NOM-122-SSA1-1994, Que establece las especificaciones sanitarias de los sistemas de abastecimiento de agua potable públicos y privados. *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Salud. (2005). NOM-043-SSA2-2005, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación. *Diario Oficial de la Federación*.
- Shimada, M. A. (2003). *Nutrición Animal*. Editorial trillas. Primera edición. México.
- Soto, M. A. L., Dedios, J. A. Y., & Calderón, R. R. (2012). Estudio de rendimiento de harina de lúcuma a partir del fruto fresco. *Industrial data*, 15(1), 127-130.
- Souza, S. V. D. S., Jordão, C., Zampieri, D., Spontoni do Espírito, B., Leite, J., Guercio, A. C., & de Oliveira, W. (2020). El consumo de la povidexrosa previene la obesidad y sus comorbilidades en ratas alimentadas con dieta hipercalórica. *Revista chilena de nutrición*, 47(1), 6-13.
- Su, N., Li, J., Yang, L., Hou, G., & Ye, M. (2018). Hypoglycemic and hypolipidemic effects of fermented milks with added roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Journal of functional foods*, 43, 234-241.

- Tabanelli, G., Montanari, C., Grazia, L., Lanciotti, R., & Gardini, F. (2013). Effects of aw at packaging time and atmosphere composition on aroma profile, biogenic amine content and microbiological features of dry fermented sausages. *Meat Science*, 94(2), 177-186.
- Talens Oliag, P. (2017). Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura.
- Talukder, S. (2015). Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(7), 1005-1011.
- Tegegne, F., Kijora, C., & Peters, K. J. (2007). Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research*, 72(2-3), 157-164.
- Téllez-Flores, I., & Tovar-Hernández, M. (2020). Asociación de la porción servida con la recomendación de energía y nutrimentos sugerida por las guías alimentarias del INSP y el desperdicio posterior al consumo de alimentos en el servicio del desayuno del Hospital General “Dr. Fernando Quiroz Gutiérrez”. *Fernando Quiroz Gutiérrez*. *REDNUTRICIÓN*, 11(3), 760-765.
- Tello, D., Savarino, F., Audicio, J., Nesutta, V., Peano, N., & Wehbe, M. (2024). Dietas saludables y sustentables como eje transformador de los modos actuales de producción de alimentos: evidencias desde la demanda actual en la ciudad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. *SaberEs*, 16(1), 1-32.
- The Food Tech. (2021). The Food Tech: Learn & Connect. The Food Tech. <https://thefoodtech.com/eventos-de-la-industria/the-food-tech-learn-connect/#:~:text=Se%20trata%20de%20un%20EVENTO,internacionales%20m%C3%A1s%20prominentes%20del%20sector>

- Uddin Zim AFMI, Khatun J, Khan MF, Hossain MA, Haque MM. (2021). Evaluation of in vitro antioxidant activity of okra mucilage and its antidiabetic and antihyperlipidemic effect in alloxan-induced diabetic mice. *Food Sci Nutr*. Oct 28;9(12):6854-6865.
- Ursachi, C. Ş., Perța-Crișan, S., & Munteanu, F. D. (2020). Strategies to improve meat products' quality. *Foods*, 9(12), 1883.
- Vaclavik, V. A., Christian, E. W., & Christian, E. W. (2008). *Essentials of food science* (Vol. 42). New York: Springer.
- Valentini, J., Da Silva, A. S., Fortuoso, B. F., Reis, J. H., Gebert, R. R., Griss, L. G., Boiago, M. M., Lopes, L.Q.S., Santos, R.C.V., Wagner, R. & Tavernari, F. C. (2020). Chemical composition, lipid peroxidation, and fatty acid profile in meat of broilers fed with glycerol monolaurate additive. *Food chemistry*, 330, 127187.
- Ventura-Aguilar, R. I., Bosquez-Molina, E., Bautista-Baños, S., & Rivera-Cabrera, F. (2017). Cactus stem (*Opuntia ficus-indica* Mill): anatomy, physiology and chemical composition with emphasis on its biofunctional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(15), 5065-5073.
- Vilela, C., Pinto, R. J., Coelho, J., Domingues, M. R., Daina, S., Sadocco, P., Santos S. A. O. & Freire, C. S. (2017). Bioactive chitosan/ellagic acid films with UV-light protection for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 73, 120-128.
- Villasante, J., Pérez-Carrillo, E., Heredia-Olea, E., Metón, I., & Almajano, M. P. (2019). In vitro antioxidant activity optimization of nut shell (*Carya illinoensis*) by extrusion using response surface methods. *Biomolecules*, 9(12), 883.
- Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D., & Puente, L. (2021). Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes. *Revista chilena de nutrición*, 48(4), 609-619.
- Yarmand, M. S., & Homayouni, A. (2010). Quality and microstructural changes in goat meat during heat treatment. *Meat science*, 86(2), 451-455.

Zhu, F. (2020). Dietary fiber polysaccharides of amaranth, buckwheat and quinoa grains: A review of chemical structure, biological functions and food uses. *Carbohydrate Polymers*, 248, 116819.

ANEXOS

Anexo 1. Prueba sensorial de nivel de agrado del snack cárnico.

Fecha de prueba: _____	Escolaridad: _____
Sexo: F <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> Edad: _____	Lugar de procedencia: _____

Instrucciones:

Frente a usted se encuentran 4 muestras de Snack cárnico, favor de probarlas de izquierda a derecha, y anotar en el recuadro correspondiente el nivel de agrado, en relación a su color, olor, sabor y textura de cada muestra. No olvide tomar un poco de agua antes y entre cada muestra.

Color

	948	683	527	368	Observaciones
Me disgusta mucho					
Me disgusta					
No me gusta, ni me disgusta					
Me gusta					
Me gusta mucho					

Olor

	948	683	527	368	Observaciones
Me disgusta mucho					
Me disgusta					
No me gusta, ni me disgusta					
Me gusta					
Me gusta mucho					

Sabor

	948	683	527	368	Observaciones
Me disgusta mucho					
Me disgusta					
No me gusta, ni me disgusta					
Me gusta					
Me gusta mucho					

Textura

	948	683	527	368	Observaciones
Me disgusta mucho					
Me disgusta					
No me gusta, ni me disgusta					
Me gusta					
Me gusta mucho					