



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO TRADICIONAL DEL
Xoconostle (*Opuntia spp.*) SOBRE LA BIOACCESIBILIDAD *IN*
VITRO DE COMPUESTOS FITOQUÍMICOS Y SU ACTIVIDAD
ANTIINFLAMATORIA”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

PRESENTA

JOSÉ MANUEL PIÑA RIVERA

DIRIGIDO POR

DRA. ROCIO CAMPOS VEGA

CO-DIRIGIDO POR

M. EN C. DAFNE VELASQUEZ JIMÉNEZ

CU, SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO., MARZO 2024



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



EFEECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO TRADICIONAL
DEL Xoconostle (*Opuntia* spp.) SOBRE LA
BIOACCESIBILIDAD IN VITRO DE COMPUESTOS
FITOQUÍMICOS Y SU ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA

por

José Manuel Piña Rivera

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

Clave RI: FQLIN-279285



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO TRADICIONAL DEL
Xoconostle *Opuntia spp.* SOBRE LA BIOACCESIBILIDAD *IN*
VITRO DE COMPUESTOS FITOQUÍMICOS Y SU ACTIVIDAD
ANTIINFLAMATORIA”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

PRESENTA

JOSÉ MANUEL PIÑA RIVERA

DIRIGIDO POR

DRA. ROCIO CAMPOS VEGA

CO-DIRIGIDO POR

M. EN C. DAFNE VELASQUEZ JIMÉNEZ

SINODALES

DRA. ROCIO CAMPOS VEGA



DIRECTOR

M. EN C. DAFNE VELASQUEZ JIMÉNEZ



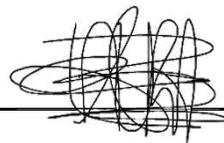
CO-DIRECTOR

M. EN C. ISIDRO RESÉNDIZ LÓPEZ



SINODAL

DRA. LAURA CRISTINA BERUMEN SEGURA



SINODAL

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	0
INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES	3
1.1. Características morfológicas del Xoconostle <i>Opuntia</i> spp.	3
1.2. Zona endémica de <i>Opuntia</i> spp.	4
1.3. Producción y aplicaciones industriales	6
1.4. Aspecto culinario y medicina tradicional de <i>Opuntia</i> spp.	6
1.5. Composición nutrimental	7
1.5.1. Proteína	7
1.5.2. Lípidos	8
1.5.3. Carbohidratos	9
1.5.4. Humedad	9
1.5.5. Cenizas	10
1.6. Composición nutraceutica	10
1.6.1. Fibra dietaria	11
1.6.2. Compuestos fenólicos	12
1.6.3. Flavonoides	14
1.7. Alimentos funcionales	15
1.8. Bioaccesibilidad	16
1.9. Tratamiento térmico	16
1.10. Potencial antiinflamatorio	16
1.10.1. Procesos inflamatorios	16
1.10.2. Factores de inflamación	17
1.10.3. Relación de inflamación/enfermedades crónicas no transmisibles	19
1.10.4. Estabilidad de membrana	20
1.10.5. Justificación	20
2. HIPÓTESIS	21

3. OBJETIVOS	22
3.1. Objetivo General	22
3.2. Objetivos Particulares	22
4. METODOLOGÍA	23
4.1. Muestreo	23
4.2. Procesamiento de las muestras	23
4.3. Caracterización física	24
5.3.1. Determinación de color	25
4.4. Caracterización química	25
4.4.1. Determinación de pH	25
4.4.2. Determinación de humedad	25
4.4.3. Determinación de proteína	25
4.4.4. Determinación de fibra	26
4.4.5. Determinación de grasas	27
4.4.6. Determinación de cenizas	27
4.5. Caracterización nutracéutica	28
4.5.1. Extracción de compuestos bioactivos	28
4.5.2. Fenoles totales	28
4.5.3. Flavonoides	29
4.5.4. Capacidad antioxidante	29
4.6. Ensayo de simulación de digestión gastrointestinal in vitro	30
4.6.1. Simulación de boca	31
4.6.2. Simulación de estómago	31
4.6.3. Simulación de intestino delgado	32
4.7. Capacidad antiinflamatoria in vitro	32
4.7.1. Preparación de las células sanguíneas	32
4.7.2. Ensayo de actividad estabilizadora de membrana	33
4.8. Manejo de residuos peligrosos biológico-infecciosos	34
4.9. Análisis estadístico	34
5. Resultados y Discusión	35
5.1. Caracterización física	35
5.2. Caracterización proximal	36

5.3. Determinaciones nutracéuticas	38
5.4. Capacidad antioxidante	39
5.5. Simulación de digestión	41
5.6. Capacidad antioxidante de los digestos	42
5.7. Capacidad antiinflamatoria	44
6. Conclusión	46
7. Bibliografía	47
8. Anexos	57
8.1. Consentimiento informado para la participación en la investigación: donador de saliva	57
8.2. Consentimiento informado para la participación en la investigación: toma de muestra sanguínea.	63
8.3. Reclutamiento	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Composición proximal (base seca) de estructuras frutales de xoconostle cv. Cuaresmeño.	7
2.	Caracterización física del Xoconostle <i>Opuntia spp.</i>	35
3.	Caracterización proximal del Xoconostle <i>Opuntia spp.</i>	37
4.	Determinación nutracéutica del Xoconostle <i>Opuntia spp.</i>	39
5.	Bioaccesibilidad de compuestos fenólicos durante las etapas de la digestión <i>in vitro</i> .	41
6.	Evaluación de la capacidad antiinflamatoria.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Conformación del xoconostle por sus diferentes partes características del fruto.	4
2.	Mapa de la república mexicana, el sombreado en azul indica la región productora de xoconostle.	5
3.	Capacidad antioxidante durante las etapas de la digestión <i>in vitro</i>	43

RESUMEN

El Xoconostle *Opuntia spp.* es una cactácea originaria de México, cuyos frutos han demostrado contener compuestos relacionados a la protección contra diversas enfermedades. Evaluar la capacidad antiinflamatoria de la fase digerible del xoconostle puede ayudar a comprender si su consumo tradicional modifica el efecto de los factores de inflamación. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en la bioaccesibilidad *in vitro* de compuestos bioactivos del xoconostle y la evaluación de su capacidad antiinflamatoria después de someterse al tratamiento térmico tradicional. Se caracterizó químicamente al mesocarpio del xoconostle crudo y cocido mediante un análisis proximal que incluyó humedad, grasa, proteína, ceniza, carbohidratos y fibra total (soluble e insoluble). Después del tratamiento térmico pudo observarse un aumento de la humedad, los lípidos permanecieron sin cambios y hubo una disminución del contenido de proteínas y cenizas. El tratamiento térmico incrementó el contenido de fibra dietaria total. Se determinó el contenido de fenoles totales y flavonoides del extracto metanólico del xoconostle, y se encontró una disminución de ambos después de la cocción. Se evaluó la capacidad antioxidante de ambas muestras mediante los métodos de FRAP y DPPH, donde pudo observarse una disminución de la capacidad antioxidante después de la cocción. Se realizó una simulación de digestión para determinar la bioaccesibilidad de compuestos bioactivos, donde se observó un mayor porcentaje de bioaccesibilidad en la muestra cocida y se observó una disminución de la misma al paso de las fases del experimento. Se evaluó la capacidad antiinflamatoria de la fracción digerible intestinal por el método de permeabilidad de membrana de glóbulos rojos, donde se obtuvo una mayor protección para las células rojas después de la cocción. El tratamiento térmico tradicional del xoconostle ocasiona cambios químicos que afectan negativamente la bioaccesibilidad de los compuestos ligados a la capacidad antioxidante, pero favorecen la capacidad antiinflamatoria *in vitro* de esta matriz después de someterse a una digestión.

INTRODUCCIÓN

El Xoconostle *Opuntia spp.* es una planta originaria del centro de América. Se encuentra conformada por ramas gruesas que sostienen hojas llamadas pencas y que les brindan a estas plantas la forma de grandes arbustos (Drezner, 2020). La parte de la planta que más se aprovecha del xoconostle son los frutos, bayas con forma normalmente periforme, de color rosado, conformados por el epicarpio, mesocarpio y endocarpio, que se caracteriza por su sabor ácido. Está rodeada de numerosos islotes de espinas en forma de cepillo y en la parte superior de este fruto se encuentra un receptáculo apical, que sirve como la base de su flor. La temporada en el que los frutos suelen proliferar y se comienza su cosecha, es el otoño (Ramadan y col., 2021).

Las zonas áridas y semiáridas de la República mexicana son el hábitat principal del xoconostle, regiones geográficas con pocas precipitaciones pluviales (García, 2017b). Las condiciones en que se desarrollan los frutos le otorgan gran resistencia, son capaces de permanecer varios meses en la planta de xoconostle y semanas fuera de ella sin perder humedad, color o sabor (García, 2017a). A pesar de la existencia de cultivares de producción industrial del xoconostle, la cantidad de cultivo aún se considera de traspatio, ya que se realiza de forma manual y a partir de plantas silvestres. El surgimiento de dichos cultivares ha sido gracias a la demanda del fruto en el mercado y, a su vez, gracias a la versatilidad gastronómica de este fruto, ya que además de consumirse fresco, también puede encontrarse en platillos o como complemento del cerdo, verdolagas, caldo de res con verduras, mole de olla, deshidratado o en ensaladas, también como materia prima en la elaboración de salsas, mermeladas y licores (García, 2017b).

El xoconostle puede brindar un contenido nutrimental completo en el que podemos englobar a las proteínas, lípidos, carbohidratos y agua, aporta al organismo fibra, minerales, vitamina C y antioxidantes, superando a la de otros frutos como la fresa,

mora azul y cereza. Además, existe información sobre las características fisicoquímicas, antioxidantes y principios activos del fruto de xoconostle y se ha demostrado que algunos compuestos están directamente relacionados con un mecanismo específico de protección contra diversas enfermedades. La fibra dietaria, fenoles, flavonoides, le otorgan al xoconostle una propiedad funcional en virtud de su composición química y no referente a su valor nutritivo (García, 2017b).

La supresión de vías anabólicas como la de la insulina, el metabolismo de lípidos en los adipocitos, e incluso, factores de crecimiento tumoral, tienen un alto nivel de coordinación con los factores de inflamación, la cual está ligada con el surgimiento de enfermedades crónicas no transmisibles, aquellos padecimientos que se encuentran relacionados con la edad y con problemas metabólicos no infecciosos. Dentro de estas se encuentra la diabetes, el cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Rodríguez y García, 2018). Al incluir hábitos al estilo de vida de los individuos, como el consumo de tabaco, alcohol, sedentarismo o una dieta inestable, se inducen mecanismos metabólicos como el estrés oxidativo y la para-inflamación que provoca daño en los tejidos y la aparición de enfermedades crónicas no transmisibles (Castro, 2021). La bioaccesibilidad es la fracción de una matriz alimentaria que, mediante la digestión, es susceptible a atravesar la barrera intestinal, puede verse afectada en algunos compuestos por factores que provocan cambios químicos en su estructura durante la preparación de los alimentos (Gomez, 2022). Evaluar la capacidad antiinflamatoria de la fase digerible del xoconostle ayudará a comprender si el consumo de estos frutos puede atenuar el efecto de los factores de inflamación y, a la vez, postularlo como un alimento funcional específico antiinflamatorio.

Con el presente trabajo se pretende determinar la bioaccesibilidad *in vitro* de compuestos bioactivos seleccionados y la capacidad antiinflamatoria *in vitro* de xoconostle después de someterse al tratamiento térmico tradicional.

1. ANTECEDENTES

1.1. Características morfológicas del Xoconostle *Opuntia spp.*

La planta de Xoconostle *Opuntia spp.* crece en tamaños variados que van desde plantas pequeñas a grandes arbustos, está formada principalmente por ramas gruesas que soportan todo el peso del follaje (Ramadan y col., 2021). Las plantas de *Opuntia spp.* están conformadas por apéndices planas, forradas de espinas llamadas pencas, donde se lleva a cabo la fotosíntesis (Drezner, 2020). En promedio tiene una altura y un diámetro de 182 cm y 137 cm, respectivamente. El tamaño de la planta de *Opuntia spp.* influye directamente en el volumen de frutos producidos anualmente, y varía dependiendo de factores temporales como son la lluvia y sequías. Las frutas de *Opuntia spp.* suelen proliferar en el otoño, de acuerdo con la región en la que se encuentre, siendo principalmente obtenidos en el mes septiembre (Ramadan y col., 2021).

Los xoconostles se consideran muy resistentes, a pesar de tener depredadores característicos de las zonas áridas y semiáridas, como son las aves, roedores, serpientes e insectos. Su nombre común es derivado de las palabras Nahuatl: *xoco* (ácido) y *nochtli* (tuna) por lo que también se conoce como tuna ácida, sin embargo, el xoconostle puede ser caracterizado por un menor tamaño en comparación con la tuna dulce (García, 2017a).

El xoconostle es una baya (Figura 1) que puede presentar forma cilíndrica, periforme, e incluso esférica, tiene un peso aproximado de 60 g, un diámetro que oscila entre los 4 a 5 cm, y se distingue una depresión o receptáculo apical, llamado ombligo (García, 2017a), el cual fue ocupado como base de la flor del xoconostle, que se caracteriza por ser hermafrodita, hemicíclica y con eje frontal largo, que va de color amarillo intenso hasta rosado (García, 2017b). Su conformación también varía por diversos factores como la madurez, la humedad que contenga cada pieza, etcétera. En promedio, una fruta madura y saludable está compuesta por el epicarpio (22 a 24

%), el mesocarpio (58 a 65 %) y el endocarpio (13 a 18 %) (Osorio-Esquivel y col., 2011).

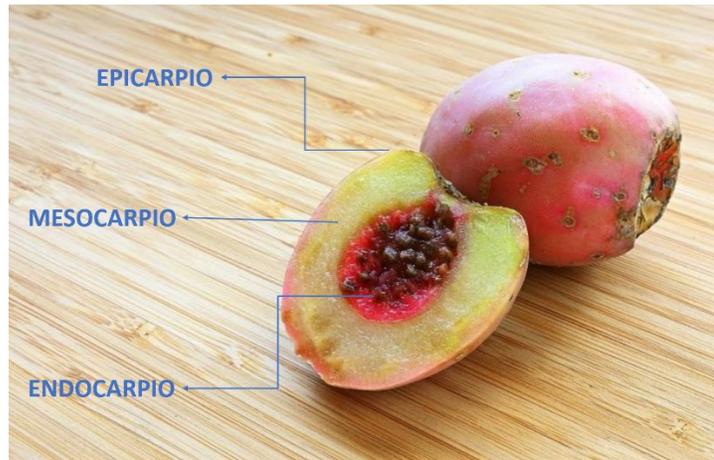


Figura 1. – Conformación del xoconostle por sus diferentes partes características del fruto (Lifeder, 2021).

Las frutas se encuentran rodeadas de espinas delgadas agrupadas en forma de cepillo que las mantienen seguras de la adversidad depredadora. Estas se pueden encontrar en un amplio rango de colores: blanco, amarillo limón, violeta, rojo, rosado y anaranjado, tales coloraciones son establecidos principalmente por las betalaínas (Ramadan y col., 2021).

1.2. Zona endémica de *Opuntia spp.*

El xoconostle es un alimento autóctono de México, producido principalmente en zonas áridas y semiáridas del país y el continente americano a la que se le atribuyen propiedades hipocolesterolémicas, hipoglucémicas e hipolipemiantes (García, 2017a). El centro de diversificación del xoconostle es demasiado amplio, ya que comprende al territorio de los estados de Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Hidalgo, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Aguascalientes, e incluso se extiende hasta el

suroeste de los Estados Unidos de América (Figura 2) (Gutiérrez, 2018). La diversificación de esta planta supone una superfauna herbívora de hace aproximadamente tres millones de años, que se encargaron de esparcir extensamente las semillas de xoconostle a lo largo del territorio mencionado (Scheinvar y Sule, 2010).



Figura 2. – Mapa de la república mexicana, el sombreado en azul indica la región productora de xoconostle (Gutiérrez, 2018).

Son plantas xerófilas, resistentes a la sequía, su morfología es resultante de su adaptabilidad a las zonas con pocas precipitaciones pluviales, clima caliente y seco, propio de las zonas áridas y semiáridas (García, 2017b). Según Gallegos-Vázquez y col. (2014), a pesar de su resistencia, la población de plantas silvestres de

Xoconostle *Opuntia spp.* se ha visto afectada a través del tiempo por factores naturales y abióticos. Se cree que la disminución tan drástica y el exterminio del xoconostle ha sido ocasionada por plagas, incendios, uso y transformación del suelo para la adaptación a la industria ganadera, agrícola, al crecimiento urbano y la intervención del hombre en el hábitat natural de estas plantas.

1.3. Producción y aplicaciones industriales

Los frutos del xoconostle son la parte más aprovechada de la planta debido a su versatilidad gastronómica, aporte nutricional y valor medicinal superior al de otras frutas (García, 2017b). La variedad de procesos a los que se somete la fruta de xoconostle ha cautivado la atención del arte culinario a nivel internacional, lo cual ha llevado al desarrollo industrial de la cosecha de este fruto en tres estados mexicanos específicos: Puebla, Estado de México y Guanajuato. Según Guzmán-Maldonado y col. (2010), la oferta total anual rondaba las 10 000 toneladas.

A pesar de la actual existencia de cultivares que se dedican a la producción a gran escala de xoconostle para su comercialización en el mercado, el cultivo de nopal se considera todavía de traspatio, comúnmente orgánico. Los frutos se cosechan de plantas silvestres de forma manual y selectiva. Su utilización y el desarrollo de nuevos productos elaborados a base de xoconostle son resultado del conocimiento local o tradicional que existe en grupos indígenas (García, 2017b).

1.4. Aspecto culinario y medicina tradicional de *Opuntia spp.*

Además de su consumo en fresco, podemos encontrar en la gastronomía al xoconostle con carne de cerdo, verdolagas, caldo de res con verduras, mole de olla, deshidratado o en salsas y ensaladas. Se ha dado valor agregado diversificando usos empleados como materia prima en la elaboración de salsas, mermeladas, licores, galletas, ate, conservas, miel y almíbar (García, 2017b).

1.5. Composición nutrimental

El xoconostle puede brindar un contenido nutrimental completo en el que podemos englobar a las proteínas, lípidos, carbohidratos, agua, etc. El consumo de xoconostle aporta al organismo cantidades significativas de fibra, minerales, vitamina C y antioxidantes. La concentración de fenoles solubles, betalaínas y vitamina C, supera a la de otros frutos como la fresa, mora azul y cereza (García, 2017b). Estudios previos nos han demostrado la composición nutrimental de esta fruta, sobre los cuales podemos basarnos para describirla a mayor profundidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. – Composición proximal (base seca) de estructuras frutales de xoconostle cv. Cuaresmeño (Guzmán-Maldonado y col., 2010).

Componente	Contenido (%)
Grasa	7.15 - 8.10
Proteína	6.84 - 8.16
Ceniza	1.70 - 1.95
Carbohidratos	81.77 - 83.28
Fibra Total	0.93 - 1.02
Insoluble	0.60 - 0.72
Soluble	0.30 - 0.35

1.5.1. Proteína

Las proteínas son un nutrimento importante para los seres vivos, pese a que no son los que más energía aportan a los organismos, resultan compuestos de vital importancia para los mismos (Cardona y col., 2019). Las proteínas son macromoléculas compuestas por unidades estructurales llamados aminoácidos, los cuales están unidos por enlaces entre su grupo carboxilo y el grupo amino de otro aminoácido, llamados enlaces peptídicos. Es de esta manera que se forman las cadenas complejas de aminoácidos y, a su vez, estructuras proteicas primarias

(lineales, de hasta 20 aminoácidos), secundarias (plegamiento entre aminoácidos cercanos en la cadena polipeptídica), terciaria (plegamiento de la estructura secundaria de un polipéptido sobre sí misma, originando una conformación globular) y cuaternaria (complejo proteico formado por varias cadenas polipeptídicas de estructura terciaria unidas mediante enlaces débiles); y es así como ganan funcionalidades. El aporte de aminoácidos durante el crecimiento de los organismos como provisión de proteína corporal, define la importancia de la proteína presente en la dieta de los individuos (Chaquilla-Quilca y col., 2018).

Las proteínas pueden obtenerse de alimentos que incorporamos cotidianamente a nuestra dieta, mayoritariamente de las leguminosas y los productos de origen animal, los cuales son recomendadas incluirlas equilibradamente en el conjunto de alimentos que se consuman diariamente, para así favorecer los procesos metabólicos del desarrollo celular y la reparación de los tejidos (Delgado y Dolores, 2021). Según los resultados presentados por Guzmán-Maldonado y col. (2010), el xoconostle contiene una cantidad considerable de proteína, entre 6.84 y 8.16 % que, aunque no es el nutriente más abundante del fruto, al consumirlo se obtiene tal aporte de proteína.

1.5.2. Lípidos

Los lípidos son un conjunto de biomoléculas formadas por cadenas hidrocarbonadas que se identifican por ser hidrofóbicas. Se caracterizan por realizar la aportación energética más grande que el organismo pueda recibir por medio de la ingesta. Las vitaminas liposolubles, y varios compuestos lipídicos que se consumen en los alimentos, son los que hacen indispensables a los lípidos en la dieta. Ya sea que provengan del reino animal o del reino vegetal, los lípidos forman parte de nuestra alimentación. Los componentes lipídicos que aportan los animales terrestres son los fosfolípidos, colesterol y triglicéridos (pueden afectar al metabolismo de lipoproteínas) y los de los animales marinos son los omegas. Los lípidos vegetales,

debido a su estructura química (ácidos grasos mono y poliinsaturados), se presentan como sustancias líquidas, es decir, aceites (Carvajal, 2019).

Según Guzmán-Maldonado y col. (2010) la cantidad de lípidos que el xoconostle puede aportar no es muy alta, entre 7.15 y 8.10 %. Es preciso considerar que la importancia del consumo de lípidos en la dieta recae sobre distintas funciones, como ser el vehículo de múltiples componentes que otorgan sabor y olor a los alimentos, transportar otros nutrientes liposolubles como las vitaminas, etc. Un aporte adecuado de lípidos al organismo proporciona un soporte y respaldo energético para el correcto funcionamiento de numerosas proteínas estructurales y facilita la absorción de minerales como el calcio (Álvarez, 2020).

1.5.3. Carbohidratos

Los hidratos de carbono son la fuente de energía por excelencia, ya que son los primeros nutrientes en ser metabolizados en el organismo (Jiménez-León, 2021). No todos los carbohidratos funcionan de la misma manera en el organismo, es por eso que se han clasificado en cuatro grupos: carbohidratos simples, disacáridos, los polisacáridos y los oligosacáridos (Gómez y Palma, 2013). Se ha estudiado que, gracias a su alto contenido de fibra, su poder edulcorante y energético, los carbohidratos suponen un aporte energético total en la dieta de entre 40 y 53 % (Márquez y col., 2020). Según Guzmán-Maldonado y col. (2010), el aporte de carbohidratos que ofrece el xoconostle es alto, de 81.77 – 83.28 % del total de su composición proximal en base seca.

1.5.4. Humedad

Determinar la humedad es relevante para establecer varios factores que influyen directamente en el desarrollo de un análisis. La cantidad de agua que una muestra posee permite saber el porcentaje de sólidos, calcular la materia prima necesaria

para sus análisis y limitar recursos para el crecimiento microbiano en las muestras (Tirado y col., 2015). El agua se encuentra presente en todos los alimentos, en cantidades muy variables, se puede presentar en dos formas distintas; agua libre y agua ligada (unida químicamente o adsorbida en moléculas de sacáridos que se hidratan con facilidad) (García y Fernández, 2012). El contenido de humedad en los frutos del xoconostle es el elemento que los conforma en mayor proporción, rondando el 90 % de la composición proximal, variando ligeramente por distintos factores, incluyendo la madurez, región o temporada de cosecha y la especie (García, 2017a).

1.5.5. Cenizas

El valor del contenido de minerales en una masa biológica, es lo que se define como cenizas totales. El valor de cenizas totales puede ser útil como identidad de una matriz determinada, y podría ser un factor determinante de la presencia de sustancias adulterantes en los alimentos. Dentro de los análisis de evaluación nutricional se realiza la determinación de cenizas totales (Flores y col., 2021). Se han desarrollado distintas metodologías para la determinación de cenizas en varias matrices, facilitando los análisis de dichos componentes (Rodríguez-López y col., 2013). El aporte de minerales que el fruto del xoconostle ofrece se encuentra constituido principalmente por calcio y hierro (Alonso-Guerrero, 2019). Según Guzmán-Maldonado (2010), el xoconostle ofrece 1.70 – 1.95 % de cenizas de su composición proximal.

1.6. Composición nutracéutica

Numerosas especies químicas poseen una función biológica que beneficia la salud de los individuos que los consumen mediante la dieta, ya que algunas de estas se encuentran naturalmente en los alimentos y pueden ser aprovechadas por los organismos. Existe información sobre las características fisicoquímicas, antioxidantes y principios activos del fruto de xoconostle y se ha demostrado que

algunos compuestos están directamente relacionados con un mecanismo específico de protección contra diversas enfermedades y como suplemento alimenticio (García, 2017b).

1.6.1. Fibra dietaria

La fibra dietaria o dietética es un conjunto de sustancias de origen vegetal, conformada por carbohidratos y algunos derivados como los polisacáridos, oligosacáridos, la lignina, etc. Estos no pueden ser degradados por hidrólisis de digestión y no se absorben en el intestino delgado, sino que llegan intactos hasta el colon, donde algunos de ellos pueden ser fermentados o hidrolizados por enzimas. Se han incluido, al paso del tiempo, términos que nos describen a un tipo de fibra que contiene componentes fisiológicamente activos como el almidón resistente, la inulina, numerosos oligosacáridos y disacáridos. A esto se le llama fibra funcional y secundaria al término de fibra total, que resulta de la suma de la fibra dietética y la nombrada fibra funcional (Chamorro y Mamani, 2010). Existen propiedades específicas, como la solubilidad en agua, que nos permiten englobar dos arquetipos según la naturaleza de la fibra: soluble e insoluble (Ligarda y col., 2012).

La fibra soluble tiene la propiedad de retrasar el tránsito intestinal gracias a que favorece la formación de geles viscosos con el agua, dentro del tracto gastrointestinal. Se relaciona con el metabolismo de lípidos, carbohidratos y es altamente fermentable. Se encuentra representada por mucílagos, pectina, hemicelulosa, gomas, etc. Mientras que, la fibra insoluble no se dispersa en agua, ya que está conformada por celulosa y hemicelulosas y ligninas que se pueden encontrar en algunas frutas, verduras, cereales y leguminosas. Tienen la capacidad de retener la humedad, lo que aumenta su peso y el tamaño de las heces 20 veces (Chamorro y Mamani, 2010). Se ha relacionado a la fibra soluble con la disminución de colesterol LDL, mayor capacidad de hinchamiento y, por tanto, con una mayor sensación de saciedad, mientras que la fibra insoluble se relaciona con una mayor

retención de agua, lo que facilita la peristalsis y facilita la actividad evacuatoria (Calizaya-Mamani y Sotelo-Méndez, 2023).

En el estómago la fibra soluble se hidrata y se hincha, causando una sensación de saciedad y no sufre modificación estructural alguna, pero cuando esta llega al intestino, se lleva a cabo una serie de reacciones enzimáticas por parte de las bacterias que radican de la microbiota intestinal. A esto se le llama fermentación, porque las condiciones en las que ocurre son anaerobias, produciéndose dióxido de carbono, gas metano, hidrógeno y ácidos grasos de cadena corta, que constituyen el sustrato fundamental del colon. Los efectos benéficos ya mencionados son el producto de todos estos procesos que la fibra sufre a su paso por el tracto digestivo (García, 2017a).

La fibra es un complemento muy útil para incluir en la dieta, ha presentado numerosos beneficios al consumidor y es un tema de gran interés científico. Se sabe que la fibra dietética ayuda a prevenir el estreñimiento y cáncer de colon, además de acelerar el flujo de los alimentos a través del tracto gastrointestinal. El consumo de alimentos variados como frutas, verduras, cereales y leguminosas, se ha relacionado con varios efectos benéficos a la salud, como la regulación del peso corporal, como laxantes naturales, la regulación de lípidos de baja densidad (LDL), un menor requerimiento de insulina, entre otros (Ensastiga y Galván, 2022).

1.6.2. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de origen vegetal, los cuales son utilizados para desempeñar varias funciones como la protección ante ciertos patógenos ajenos al organismo vegetal, sanar heridas, incluso para el crecimiento y reproducción de este (García y col., 2015). En el campo nutricional se ha cambiado el nombre de estos compuestos a “polifenoles”. Estas estructuras complejas tienen

un papel muy importante en la salud, ya que son los antioxidantes más consumidos en la dieta alimenticia, además de su fácil acceso y abundancia de alimentos que los poseen, lo que vuelve más sencillo la inclusión a la dieta y disposición para obtener los beneficios (Zapata y col., 2014).

En el metabolismo aeróbico se generan especies oxidantes de forma natural e inevitablemente. El organismo está equipado para mantener neutralizadas algunas de estas especies, sin embargo, en algunos casos (el envejecimiento y algunas enfermedades) la defensa que se puede generar es insuficiente ante las especies reactivas de oxígeno, lo que desencadena un fenómeno que se llama estrés oxidativo (Agüero y col, 2019). Su función de atrapar especies reactivas de oxígeno, la capacidad quelante de metales y la inactivación de la lipooxigenasa es lo que representa la actividad biológica de los compuestos polifenólicos y, a la vez, lo que los vuelve tan importantes (García y col., 2015).

Los polifenoles son especies que ayudan a prevenir enfermedades relacionadas a la oxidación celular como la diabetes tipo 2, osteoporosis, desórdenes cardiovasculares, como agente antimutagénico, antitumoral o incluso cáncer. Son compuestos que poseen un potencial antioxidante incluso mayor al de las vitaminas C y D (Zapata y col., 2014). Existen varios factores por los cuales la cantidad de fenoles en los vegetales podría variar: la exposición a la luz solar, las condiciones de cultivo, el grado de madurez, la parte del vegetal y el proceso al que se haya sometido (Rubio y Zurita, 2023). Estos compuestos bioactivos juegan un papel fundamental en la prevención de las enfermedades mencionadas. Una dieta rica en frutas, verduras e ingredientes diseñados como complemento alimenticio que contengan polifenoles podría ofrecer beneficios a la salud (Castromonte y col., 2020). La bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos, como fenoles y flavonoides, han sido estudiados con resultados satisfactorios, que demuestran la habilidad de inhibición de la proliferación de numerosas células tumorales (Osorio-Esquivel y col., 2011), gran potencial

antioxidante, antimicrobiano e incluso la inhibición de enzimas biológicas como amilasas y glucosidasas (Medina-Pérez y col., 2021).

1.6.3. Flavonoides

Los flavonoides son un tipo de compuestos naturales que constituyen un amplio grupo de los fenoles. Los flavonoides tienen un papel relevante en la naturaleza, tanto en los vegetales, que ayuda a su crecimiento y la correcta función de su metabolismo (apegados a la función de los fenoles en general), como en la salud humana, que se consiste en neutralizar a las especies reactivas de oxígeno, su capacidad quelante de metales, antiinflamatorio, reducción de radicales libres y la inhibición de enzimas generadoras de peróxidos orgánicos (Garrido, 2013).

Los flavonoides pueden encontrarse de dos formas dependiendo de su anillo pirano, si se encuentra abierto (chalconas) o si ha sido reciclado de un anillo furano (auronas). Posee varios grupos hidroxilos enlazados a sus estructuras anulares. Dependiendo del azúcar que se encuentren sustituyendo sus anillos, se conocen al menos diez clases distintas de flavonoides: rotenpides, pterocarpanos, isoflavonoides, auranos, epicatequinas, catequinas, anticianidinas, flavonoles, flavonas, flavonoles, etc. Pueden presentar unidas a su estructura una o tres unidades de azúcares, es así como se logran identificar (Reyes y col., 2013).

La importancia del consumo de los compuestos flavonoides radica en los beneficios que se ofrecen a la salud. Estos compuestos han sido utilizados en el tratamiento de varios padecimientos como desórdenes cardiovasculares, procesos inflamatorios, el fortalecimiento capilar y la movilización del colesterol (Vásquez, 2015). Debido a su capacidad antioxidante, los flavonoides son utilizados para prevenir patologías relacionadas con el estrés oxidativo y presencia de radicales libres como enfermedades neurodegenerativas, cáncer, cardiovasculares o metabólicas (Reyes

y col., 2013). Los flavonoides se usan en la industria cosmética como desodorante y aclaradores cutáneos, en la industria alimenticia como saborizantes y edulcorantes. Para algunos flavonoides se ha reportado actividad antialérgica, antifúngica, antibacteriana y antitrombótica (Castillo, 2019).

1.7. Alimentos funcionales

Alimentos Funcionales es un término que se ha vuelto relevante en la industria alimentaria y que aumentó el interés de las personas recientemente. El calificativo, o bien, la “propiedad funcional” de un alimento la adquiere en virtud a su composición química y no se refiere a su valor nutritivo. Se considera entonces que, cuando un alimento (natural o procesado) favorece la salud, el estado mental o físico de un individuo, gracias a su contenido de componentes adicionales, a parte de sus componentes nutritivos, es funcional (Aguirre, 2019).

La prevención de enfermedades o el mantenimiento del bienestar y la salud de un individuo, pueden ser los efectos adicionales de los alimentos para ser categorizados como alimentos funcionales. Al afectar a los organismos de forma positiva y específica, debido a la acción de los componentes que estos poseen, promueven así un efecto fisiológico o psicológico saludable y es así como se caracterizan como alimento funcional (Méndez y col., 2020).

Una dieta correcta que incluye alimentos naturales con compuestos bioactivos, como la fibra dietética y los antioxidantes, genera efectos beneficiosos para la salud y coadyuva en el tratamiento y prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Ensastiga y Galván, 2022). Las aplicaciones del xoconostle en la medicina tradicional, destacan especialmente en el tratamiento de la diabetes mellitus, hipercolesterolemia, hipertensión, obesidad, anemia y enfermedades respiratorias (García, 2017b).

1.8. Bioaccesibilidad

La bioaccesibilidad puede definirse como la fracción de una matriz alimentaria que, como consecuencia de la liberación de dicho componente mediante la digestión, es susceptible a atravesar la barrera intestinal, o bien, pasar a la fase colónica (Gomez, 2022). Existen factores que pueden afectar de manera crucial la bioaccesibilidad de los compuestos, la oxidación de algunos nutrientes o los cambios químicos a los que pudiesen someterse durante la preparación de los alimentos en la cocina (cocción), son posibles formas para disminuir la bioaccesibilidad de compuestos y dirección al metabolismo sistémico de estos (Perales-Vázquez y col., 2020).

1.9. Tratamiento térmico

La cocción es un tratamiento húmedo a altas temperaturas, en el cual se favorecen varios cambios en la matriz alimenticia que se somete al tratamiento mencionado (Caracuel, 2008), tales como la hidratación, la gelificación de almidón y la desnaturalización de enzimas responsables de la condición perecedera de los alimentos vegetales. Sin embargo, también se obtiene la solubilización parcial de minerales y algunos compuestos bioactivos de la matriz tratada, migrando con facilidad al agua de inmersión en la que se cuecen los alimentos y que normalmente se desecha (Moncada y Gualdrón, 2006). La controversia entre autores al reportar disminución e incremento en nutrientes como la fibra dietaria por efecto del tratamiento térmico, es un motivo para el estudio del comportamiento de compuestos nutraceuticos en alimentos que tradicionalmente se consumen cocidos (Campos-Rodriguez, 2022).

1.10. Potencial antiinflamatorio

1.10.1. Procesos inflamatorios

La inflamación es una respuesta de defensa frente a factores biológicos, químicos o físicos. La llegada de las células inmunes a la zona de ataque y los tejidos adyacentes para focalizar la dicha respuesta sobre el agente agresor, de forma

rápida y de emergencia, hace que los procesos inflamatorios sean demasiado inespecíficos, aunque posteriormente pudiese generarse una respuesta más específica. Según Blancas-Flores y col. (2010) la inflamación es un proceso sistemático que se puede dividir en cinco pasos para facilitar su estudio:

- Liberación de mediadores. Son sustancias generadas por un tipo de células blancas llamadas mastocitos que, en presencia de ciertos estímulos físicos, químicos o biológicos, se producen con el fin de desencadenar el proceso inmunitario de inflamación.
- Efecto de los mediadores. Para favorecer la llegada de moléculas y células inmunes al foco inflamatorio, los mediadores efectúan papeles específicos quimiotácticos o vasculares al ser liberados.
- Llegada de moléculas y células inmunes al foco inflamatorio. Las células inmunitarias y las moléculas complementarias de estas llegan principalmente del torrente sanguíneo en respuesta de la liberación de mediadores hacia el foco inflamatorio y tejidos colindantes.
- Regulación del proceso inflamatorio. Para finalizar o regular este proceso, se llevan a cabo una serie de mecanismos inhibidores integrados en casi todas las respuestas inmunes de esta naturaleza.
- Reparación. Los daños producidos por el agente o por la propia respuesta inflamatoria son revertidos parcial o totalmente por fenómenos que constituyen a esta fase.

1.10.2. Factores de inflamación

La acumulación de células inflamatorias, gracias a los efectos y actividad de los intermediarios liberados por los macrófagos, también producen otros mediadores inflamatorios. Algunos de estos factores incrementan la transcripción de genes, ARN y proteínas que alteran los procesos celulares como la proliferación. El Factor Nuclear KappaB (NF-kB) regula una gran variedad de genes relacionados con las respuestas inmunes inflamatorias, es requerido para la expresión de interleucinas,

complejos de histocompatibilidad, numerosos genes que codifican a citoquinas, enzimas y moléculas de adhesión (Alharbi, y col., 2021). NF- κ B se encuentra inicialmente en el citoplasma unido al inhibidor I κ B, pero una vez que se fosforila y se separa en NF- κ B e I κ B, el factor logra entrar al núcleo y unirse a su región específica, terminando así la activación de transcripción de los genes mencionados (Albensi, 2019). Las Proteínas Transductores de Señales y Activadoras de la Transcripción 3 (STAT 3) se activa tras la fosforilación de la tirosina por parte de IL-6, se unen a las secuencias de respuesta al ADN y, por tanto, activan la expresión de genes (Zou, y col., 2020).

También existen otras moléculas marcadoras de inflamación que se liberan al existir acumulación de células inflamatorias como las citocinas IL-1 e IL-6, son provenientes de los macrófagos y son las que se encargan de la respuesta de la fase aguda, fiebre e induce a la liberación de otras moléculas de esta misma fase (Blancas-Flores, y col., 2010). El Factor de Necrosis Tumoral (TNF- β) es conocida también como una de las citocinas más pleiotrópicas debido a los diversos cambios fenotípicos que produce en las células. Tiene varias funciones en las respuestas inmunológicas e inflamatorias, es un factor que contribuye a la coagulación intravascular en las lesiones tisulares, puede ser responsable de la necrosis tumoral, aumenta la permeabilidad y la adhesión de ciertas células vasculares e induce a que las células endoteliales secreten una amplia gama de factores de inflamación (Sánchez y col., 2018).

La Proteína-C Reactiva (PCR) proviene de la familia de las pentraxinas, es un marcador de inflamación en fase aguda de los cuales se induce su generación gracias a las interleucinas, se llama así por su capacidad para precipitar al polisacárido-C. Es el biomarcador más estudiado de la inflamación en enfermedades cardiovasculares. Debido a su sensibilidad a la inflamación, es uno de los factores

más útiles a la hora de predecir enfermedades cardiovasculares e incluso la muerte súbita cardiaca (Manzur y col., 2011).

1.10.3. Relación de inflamación/enfermedades crónicas no transmisibles

Existen varias causas por las cuales se desencadena la liberación de los intermediarios de inflamación, la más común es la lesión celular por un agente que le resulta agresivo al tejido, estos factores son reconocidos por receptores de membrana y la consiguiente activación del mastocito. Aunque no son bien conocidos los mecanismos bioquímicos que suceden a la lesión, se sabe que involucra la activación de las células del sistema inmunitario, macrófagos, leucocitos, neutrófilos, que se acumulan en el tejido dañado generan la producción de los marcadores de inflamación (Blancas-Flores, y col., 2010). La supresión de vías anabólicas como la de la insulina, el metabolismo de lípidos en los adipocitos, e incluso de factores de crecimiento tumoral, tienen un alto nivel de coordinación con los factores de inflamación (Rodríguez y García, 2018). La presencia de los indicadores de inflamación, las interleucinas y los factores previamente mencionados, elevan sus niveles al progreso de un grupo de afecciones denominadas enfermedades crónicas no trasmisibles (Castro, 2021).

El término enfermedades crónicas no transmisibles hace alusión a aquellas enfermedades que se encuentran relacionadas con la edad y con problemas metabólicos no infecciosos. Dentro de estas se encuentra la diabetes, el cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, entre otras. En la mayoría de los casos en los que comienzan estas enfermedades, los síntomas no se presentan, es decir, son afecciones silenciosas y de progresión lenta que solo se hacen evidentes hasta que los daños en los tejidos diana ya son realmente significativos. Se ha determinado que los hábitos como el consumo de tabaco, alcohol, sedentarismo o una dieta inestable inducen a mecanismos metabólicos como el estrés oxidativo y la para-inflamación, procesos que se efectúan en condiciones de

estrés del organismo y una serie de cascadas mediadas factores de inflamación que se llevan a cabo a nivel molecular. El incluir alguno de estos factores al estilo de vida de los individuos provoca daño en los tejidos y la aparición de enfermedades crónicas no transmisibles (Castro, 2021).

1.10.4. Estabilidad de membrana

Un modelo de la membrana lisosomal que juega un papel importante en la inflamación es la membrana del eritrocito. Según Gadamsetty y col. (2013), numerosos hallazgos sobre la inhibición de lisis eritrocitaria inducida por calor es mediada por AINE's. Esta acción puede evitar la interacción física con los agentes de agregación o promover la dispersión por repulsión de cargas similares que intervienen en la hemólisis de glóbulos rojos.

1.10.5. Justificación

Se ha demostrado que algunos compuestos que se encuentran en el fruto de xoconostle están directamente relacionados un mecanismo específico de protección contra diversas enfermedades crónicas. Para esclarecer el mecanismo de acción de estos compuestos es importante comprender cómo se comportan al entrar en contacto con los tejidos del organismo.

2. HIPÓTESIS

Los cambios de bioaccesibilidad y la capacidad antiinflamatoria de los compuestos bioactivos extraídos del Xoconostle (*Opuntia spp.*), son afectados después de someter el fruto a un tratamiento térmico tradicional.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar los cambios en la bioaccesibilidad *in vitro* de los compuestos bioactivos y la capacidad antiinflamatoria de Xoconostle (*Opuntia spp.*) después de someterse al tratamiento térmico tradicional.

3.2. Objetivos Particulares

- Caracterizar química y nutracéuticamente al mesocarpio de la fruta del xoconostle, tanto fresco como cocinado tradicionalmente.
- Determinar la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos de la pulpa del xoconostle fresco y cocinado tradicionalmente, utilizando un modelo de digestión gastrointestinal *in vitro*.
- Evaluar la capacidad antiinflamatoria *in vitro* de los compuestos bioactivos permeables provenientes de la pulpa del xoconostle después de someterse a una simulación de digestión gastrointestinal *in vitro*.

4. METODOLOGÍA

4.1. Muestreo

Se recolectaron las muestras en un cultivar ubicado en la comunidad de Santa Anita, San José Iturbide, Guanajuato, México (coordenadas 21.0172979, -100.3333762). Según los cálculos de rendimiento de materia, se cosecharon 20 kg de xoconostle, cuidando siempre la uniformidad del color y madurez de los ejemplares, además de la integridad de cada pieza (no perforadas, no golpeados ni fisurados).

Cuando se obtuvieron los frutos, provenientes de la planta de xoconostle, se cepillaron con el fin de retirar las espinas que las protegen, facilitando así su manejo. Se embalaron en una caja de transporte de frutas para llevarlas a la planta piloto y comenzar con el procesamiento de estas muestras.

4.2. Procesamiento de las muestras

Una vez llegadas las muestras a la planta piloto, se lavaron con agua y jabón para eliminar impurezas superficiales provenientes del cultivar, como polvo, arena o algunas espinas que pudiesen permanecer en ellas. Se retiró cuidadosamente el epicarpio con ayuda de un pelador de verduras. Posteriormente se efectuó un corte sagital y uno frontal con cuchillo, esto con el fin de descubrir el endocarpio y desempaquetar las semillas para separarlas con una cuchara. De esta manera, se obtuvo únicamente el mesocarpio.

La mitad de las muestras se destinó a ser cocida por 6 minutos, alcanzando una temperatura de 70 °C en el interior de la pieza de pulpa, de acuerdo a lo indicado por Cortez-García y col. (2015). Posteriormente se empaquetaron las muestras en su totalidad dentro bolsas dobles, selladas y etiquetadas para ser llevadas a congelación -20 °C para su conservación.

Al requerirse las muestras para sus análisis de caracterización química, fueron sacadas del congelador y trituradas en un triturador industrial. Se colocaron en charolas de aluminio protegidas con papel encerado que facilitará el manejo de la muestra, donde se esparció una capa firme y uniforme de la pulpa molida de xoconostle, ya que se llevó a una estufa para su deshidratación a 40 °C por 24 horas. La eliminación de la humedad se llevó a cabo con el fin de elaborar la harina de xoconostle para los análisis y determinaciones químicas. Al haber sido deshidratado, se obtuvieron hojuelas que se trituraron en un molino eléctrico para café hasta que nos proporcionó un tamaño de partícula de 0.25 mm. La harina se almacenó en refrigeración a 4 °C protegida de la humedad y luz dentro de bolsas dobles forradas de papel aluminio, selladas y etiquetadas.

4.3. Caracterización física

Se analizó al 10 % de las piezas, utilizando el método de muestreo de cuadrantes para brindar homogeneidad al estudio. El método de muestreo por cuadrantes consistió en colocar cada pieza de la población en un cuadro, simulando un plano cartesiano, el cual, será dividido en cuatro cuadrantes imaginarios. Se eligieron dos de estos cuadrantes de tal manera que se estuvieran cruzados y se realizó una división secundaria de estos en otros cuatro cuadrantes cada uno y entonces, se eligió un solo subcuadrante de cada cuadrante como punto de muestreo hasta obtener la muestra representativa (Moscovich & Brena, 2006).

Una vez obtenida la muestra representativa, se determinaron sus dimensiones longitudinales utilizando un vernier digital, se midió tanto altura, como diámetro. Mediante el uso de un colorímetro, se determinó el color de cada pieza para determinar el color promedio de la muestra. Se pesó en una balanza analítica a los frutos enteros para determinar su peso promedio y después se pesó por partes (epicarpio, mesocarpio y endocarpio) para determinar el porcentaje de cada parte de la fruta.

5.3.1. Determinación de color

La determinación de color se le realizó a la misma muestra representativa, se llevó a cabo con un colorímetro utilizando los parámetros del espacio CIE L*a*b, tomándose en cuenta los valores de L* (luminosidad), a* (índice rojo), b* (índice amarillo), C* (chroma) y h* (hue). El colorímetro se calibró con el color blanco, las lecturas se tomaron a temperatura ambiente en diez puntos de la superficie del xoconostle.

4.4. Caracterización química

4.4.1. Determinación de pH

Se determinó el pH con el método AOAC (2000) que consiste en la inmersión directa del electrodo en 50 ml de xoconostle licuado.

4.4.2. Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó según el método 925.23 AOAC (1989), únicamente para el mesocarpio con el fin de conocer el porcentaje de sólidos totales con los que se contaba para los análisis. Se utilizó una termo balanza y se realizó por triplicado para cada muestra.

4.4.3. Determinación de proteína

El método que se utilizó para la determinación de proteína fue el método de micro Kjeldahl 920.105 AOAC (1990), el cual determinó la cantidad total de nitrógeno total presente en una muestra.

Se pesó un gramo de muestra que se transfirió a los tubos de digestión, en este caso se agregaron las dos muestras, crudo y cocido, por triplicado. También se añadieron las cápsulas de catalizador y ácido sulfúrico concentrado en proporción 2:1 con el peso de la cápsula. Se digirieron a distintas intensidades y por distintos tiempos: 10

minutos a 480 °C, 10 minutos a 550 °C y 65 minutos a 490 °C. Una vez que se cumplió este proceso, se dejaron enfriar por 30 minutos a temperatura ambiente. Se añadieron 100 ml de NaOH 32 % y se destilaron, captando el destilado en matraces que contenían 50 ml de ácido bórico. Se titularon con HCl 0.1 N. El punto final fue cuando el pH en el potenciómetro indicó 4.65. Se calculó el porcentaje de proteína de la muestra a partir de la cantidad de nitrógeno total con la siguiente ecuación:

% de proteína =

$$\frac{(ml \text{ de HCl para titular muestra} - ml \text{ de HCl para titular blanco}) * concentración \text{ del HCl} * 14.01 * 6.5 * 100}{1000 * \text{Peso de la muestra}}$$

4.4.4. Determinación de fibra

Las determinaciones de fibra se realizaron por el método AOAC 992.16 (1993).

4.4.4.1. Fibra insoluble

Se pesó 1 g de cada muestra desgrasada por duplicado y se transfirió a un matraz, se le agregaron 50 ml de buffer de fosfato 0.08 M (pH=6) por cada matraz. Posteriormente se le agregaron 100 µl de α-amilasa. Se colocaron a baño caliente a 95 °C por 30 minutos. Se agitó vigorosamente cada 5 minutos para evitar que el contenido se adhiriera al fondo del matraz. Al terminar este tiempo, se atemperaron y se ajustó el pH = 7.5, posteriormente se añadieron 100 µl de proteasa a una concentración de 50 mg/ml y se colocaron en baño a 60 °C con agitación constante por 30 minutos. Se dejó atemperar la muestra y se le ajustó el pH = 4.0. Se agregaron 100 µl de aminoglucosidasa y se incubó en baño a 60 °C por 30 minutos y agitación constante. Se atemperó y se filtró el precipitado con papel Wattman del número 4 previamente puesto a peso constante. Se realizaron dos lavados con 15 ml de agua destilada a 70 °C y se dejaron secar en la estufa a 60 °C durante 12 horas.

4.4.4.2. Fibra soluble

Se adicionó el doble de volumen de etanol 96 % al líquido recibido de los filtrados de la prueba anterior. Se dejó entonces precipitar por 24 horas. Se filtró al vacío con filtros Wattman del número 42, previamente puestos a peso constante. Se lavó tres veces con etanol 96 % y dos veces más con acetona pura. Se llevaron los filtros a la estufa y se dejaron secar a 100 °C por 1 hora.

4.4.5. Determinación de grasas

La determinación de grasa se llevó a cabo según el método Goldfish 920.29 AOAC (1920), en el cual se colocaron 2.0 g de muestra previamente seca en un dedal de celulosa. El dedal se colocó en el equipo Goldfish con su propio vaso tarado a peso constante. El vaso se llenó con éter de petróleo a $2/3$ de su capacidad para proceder a un reflujo constante por 4 horas. El solvente se recuperó y se secó en una estufa a 40 °C hasta haberse evaporado por completo. Se calculó la diferencia de peso del vaso y, con base a los 2.0 g de muestra colocada, este representa el porcentaje de grasa en la misma.

4.4.6. Determinación de cenizas

Se realizó según el método 923.03 AOAC (1990), en donde se pesaron 2.0 g de cada muestra por duplicado y se transfirieron a crisoles previamente tarados a peso constante. Se incineraron las muestras en una estufa hasta que no se perciba flama. Posteriormente se llevaron a la mufla precalentada a 300 °C y se dejaron incinerar por 24 horas. Se pesaron los crisoles y se calculó la diferencia de su peso inicial y, con base a los 2.0 g de muestra colocada, este representa el porcentaje de ceniza en la misma.

4.5. Caracterización nutracéutica

4.5.1. Extracción de compuestos bioactivos

Los extractos se obtuvieron de la harina del fruto de xoconostle según el método de Jaramillo-Flores (2003). Se pesó un gramo de harina de cada muestra (xoconostle cocido y crudo) y se le adicionaron 10 ml de metanol al 80 % v/v que contenga 0.1 % de HCl. Se agitaron durante una hora con agitación media, constante y a temperatura ambiente. Se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 minutos a 4 °C. Se decantó el sobrenadante y se resuspendió al pellet para someterlo al mismo tratamiento. Los sobrenadantes obtenidos de ambas centrifugaciones son los extractos.

4.5.2. Fenoles totales

Para la determinación de fenoles totales se tomó el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, procedimiento establecido por Singleton (1965) en el cual se procedió a realizar una curva de calibración con estándar de ácido gálico. A partir de una solución stock de 0.1 mg/ml y utilizando el mismo solvente del extracto (metanol 80 % con HCl 0.1 %) se prepararon las diluciones progresivas del ácido gálico: 0.001 – 0.1 mg/ml. Se colocaron 30 µl de estas soluciones en placas de 96 pocillos, cinco celdas por cada solución. Se añadió a cada pocillo 120 µl de solución de carbonato de sodio al 7.5 %, así como 150 µl del reactivo de Folin-Ciocalteu es solución 1:10 con agua destilada. Cuando todos los volúmenes de los reactivos y de las soluciones estándar de la curva de calibración de ácido gálico fueron incorporados a las celdas, se dejaron en incubación a temperatura ambiente por 30 minutos. La lectura se realizó a una longitud de onda de 765 nm.

Este procedimiento se replicó sustituyendo el ácido gálico por los extractos de ambas muestras (xoconostle crudo y cocido) y con un factor de dilución 1:10 con el solvente metanol 80 % con HCl 0.1 %.

4.5.3. Flavonoides

Se determinaron los flavonoides según la metodología espectrofotométrica propuesta por Oomah (2005). Se preparó una curva de calibración a partir de una solución stock de rutina de 0.1 mg/ml en el solvente utilizado para los extractos (metanol 80 % con HCl 0.1 %), preparando soluciones seriadas desde 0.01 - 0.1 mg/ml. Se colocaron 50 μ l de estas soluciones en placas de 96 pocillos, cinco celdas por cada solución. Se añadió a cada pocillo 180 μ l de solvente metanol 80 % con HCl 0.1 %, así como 20 μ l de una solución al 1 % de 2-aminoetildifenilborato. Cuando todos los volúmenes de los reactivos y de las soluciones estándar de la curva de calibración de la Rutina fueron incorporados a los pocillos, se realizó la lectura espectrofotométrica a una longitud de onda de 404 nm.

Este procedimiento se replicó sustituyendo el Rutina por los extractos de ambas muestras (xoconostle crudo y cocido) sin diluir.

4.5.4. Capacidad antioxidante

Se determinó la actividad antioxidante mediante una sola curva de calibración para dos análisis distintos: DPPH y FRAP. Esta curva se preparó a partir de una solución stock 0.1 mg/ml de Trolox y consta de soluciones seriadas que van desde 0.01 – 0.1 mg/ml de esta sustancia. Cada metodología se apegó a las especificaciones individuales del análisis.

4.5.4.1. DPPH

Para este análisis, la preparación de la curva de calibración de Trolox, como lo plantea Fukumoto (2000), se preparó con metanol y agua en proporción 70:30, respectivamente. Se colocaron 20 μ l de estas soluciones de Trolox en placas de 96 pocillos, cinco celdas por cada solución. Se añadieron a cada pocillo 200 μ l de DPPH en disolución con metanol puro, en tal concentración que la absorbancia de este

único reactivo arroje valores de entre 0.8 y 1. Cuando estos dos volúmenes fueron agregados a los pocillos, se incubó por 6, 30, 60 y 90 minutos, y se realizó la lectura espectrofotométrica correspondiente a cada tiempo a una longitud de onda de 520 nm.

Este procedimiento se replicó sustituyendo el Trolox por los extractos de ambas muestras (xoconostle crudo y cocido) y con un factor de dilución 1:5 para el caso de las muestras crudas y 1:1 en el caso de las cocidas, las diluciones se realizaron con metanol-agua 70:30.

4.5.4.2. FRAP

El ensayo se tomó de la propuesta de Benzie & Strain (1996) que consiste en un reactivo que se preparó con TPTZ 10 Mm, FeCl₃ y buffer de acetato de sodio 0.3 M en ácido acético. Se agregó cada sustancia en proporción 1:1:10, respectivamente. Se colocaron 20 µl de estas soluciones de Trolox en placas de 96 pocillos, cinco celdas por cada solución. Se añadieron a cada pocillo 175 µl de FRAP. Cuando estos dos volúmenes fueron agregados a los pocillos, se incubaron por 15 minutos a 37 °C y con agitación leve (15 rpm), y se realizó la lectura espectrofotométrica correspondiente a cada tiempo a una longitud de onda de 595 nm.

Este procedimiento se replicó sustituyendo el Trolox por los extractos de ambas muestras (xoconostle crudo y cocido) y con un factor de dilución 1:6 para ambas muestras, crudo y cocido.

4.6. Ensayo de simulación de digestión gastrointestinal *in vitro*

Se llevó a cabo la simulación según el método propuesto por Campos-Vega y col. (2009).

4.6.1. Simulación de boca

Se reclutaron voluntarios de la comunidad estudiantil de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro mayores de 18 años de edad por medio de las redes sociales al alcance de los estudiantes; grupos de facebook de la Facultad de Química. Además de propaganda física con volantes colocados en zonas comunes de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Los sujetos pudieron participar en este estudio siempre y cuando se hubiera consumido su último alimento al menos 90 minutos antes del inicio del ensayo. Además, encontrarse libre de caries dental y no haber cepillado sus dientes con pasta dental o cualquier otro producto para el aseo bucal, solamente con agua natural.

Cuatro voluntarios realizaron seis enjuagues con 5 ml de agua, una por cada muestra, el blanco y sus duplicados. Al producto de los enjuagues se le agregaron 5 ml adicionales de agua, de forma que fue el doble del volumen inicial, se depositó en un vaso para homogenizar y se repartieron en los vasos asignados, 10 ml de cada voluntario. Se añadieron 4 g de muestra en cada vaso, se homogenizó con agitación y se incubó por 3 minutos. Se tomaron alícuotas al final de esta etapa.

4.6.2. Simulación de estómago

Se ajustó el pH del producto de la etapa de boca a 2.0 y se dividió a cada vaso en 3 tubos para agregarles una solución de pepsina en HCl al 20 mM y así evitar que la enzima formara agregados. Se incubó con agitación a 37 °C durante 2 h. Se juntaron los 3 tubos en su respectivo vaso y se tomaron alícuotas al final de esta etapa.

4.6.3. Simulación de intestino delgado

Se ajustó el pH de cada vaso de la etapa anterior a 7.6 y se le agregaron 5 ml de solución de hiel de buey y pancreatina en buffer de Krebs Ringer. Se le volvió a dividir en los tres tubos, a los cuales se les introdujo un saco de membrana de celulosa cilíndricos, atados por ambos extremos y llenos con 5 ml de el mismo buffer Krebs Ringer. Se incubó con agitación a 37 °C y se tomaron alícuotas a los 15, 30 y 60 minutos, tanto de la fase digerible (la que se encontraba dentro del saco de celulosa) y de la fase no digerible (la que se encontraba por fuera del saco).

A las muestras que se obtuvieron a partir de la simulación, se les sometió a las pruebas de determinación de fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante por DPPH y FRAP.

4.7. Capacidad antiinflamatoria *in vitro*

La determinación de la capacidad antiinflamatoria se llevó a cabo tomando la propuesta de Gadamsetty y col. (2013), la cual consta de dos fases:

4.7.1. Preparación de las células sanguíneas

Se reclutaron voluntarios de la comunidad estudiantil de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro mayores de 18 años de edad por medio de las redes sociales al alcance de los estudiantes; grupos de facebook de la Facultad de Química. Además de propaganda física con volantes colocados en zonas comunes de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Se extrajo una muestra sanguínea fresca de un paciente aparentemente sano al que no se le habían suministrado medicamentos antiinflamatorios no esteroides durante las últimas dos semanas y sin importar su tipo de sangre. La obtención de la muestra

se realizó con un tubo con anticoagulante de citrato trisódico. Se centrifugó a temperatura ambiente para posteriormente decantar el sobrenadante y se resuspendieron los glóbulos rojos con solución salina. Se repitió el mismo proceso de lavado hasta que el sobrenadante fue claro. Se preparó la suspensión de glóbulos rojos al 10 % con solución salina. La preparación de las células sanguíneas se realizó al momento del ensayo.

4.7.2. Ensayo de actividad estabilizadora de membrana

La mezcla del ensayo constó de la solución hipotónica (2 ml NaCl (0.25 % p/v), 1 ml de buffer de fosfato de sodio (0.15 mol/L, pH 7.4), 1 ml de extracto de la simulación de digestión gastrointestinal *in vitro* y 0.5 ml de suspensión de eritrocitos (2 % v/v)) e isotónica (NaCl 0.85 % p/v), para completar un volumen total de 4.5 ml.

El control de sangre se preparó con 1 ml de solución salina isotónica en lugar del extracto y el control de fármaco con 0.5 ml de solución isotónica en lugar de la suspensión de eritrocitos.

Los tubos de reacción se incubaron a 56 °C por 30 minutos, se enfriaron y se centrifugaron a 3000 rpm. Se recuperaron los sobrenadantes y se leyeron en un espectrofotómetro a 560 nm contra el blanco. Se utilizó diclofenaco como estándar. El porcentaje de estabilización de membrana se estimó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de estabilidad de membrana} = \frac{\text{Abs. de la muestra de naproxeno} - \text{Abs. del control de fármaco}}{\text{Abs. de la sangre control}} * 100$$

donde el control de sangre representó al 100 % de lisis, o bien, 0 % de estabilidad.

4.8. Manejo de residuos peligrosos biológico-infecciosos

Los desechos de las muestras recuperados antes y después del ensayo, incluyendo los materiales desechables para la toma de muestras, fueron almacenadas en bolsas y se llevaron a una temperatura de 4 °C en un congelador. La bolsa fue identificada como “desechos biológicos patológicos” y fueron almacenados hasta su posterior transporte e incineración de acuerdo a la NOM-087-ECOL-SSA1-2002 (Norma Oficial Mexicana 2002).

4.9. Análisis estadístico

El análisis estadístico para la caracterización del xoconostle fue un análisis descriptivo donde se presentó media \pm desviación estándar de al menos tres repeticiones por prueba.

Para las comparaciones entre los tratamientos del xoconostle se realizó con prueba t de Student. Para la comparación de medias con una significancia del 95 % se usó el software Minitab 17 en todos los análisis.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización física

En el Cuadro 2 se presentan los resultados que corresponden a la caracterización física de los frutos del xoconostle. La forma periforme del fruto del xoconostle fue evaluada conforme a sus dimensiones largo y diámetro. La determinación del color que se realizó con la escala cromática CIEL*a*b* arrojó las coordenadas de un color rosado grisáceo que se presentan en la misma tabla.

Cuadro 2.- Caracterización física del Xoconostle *Opuntia spp.*

Largo ¹	59.84 ± 5.04
Diámetro ¹	41.66 ± 3.88
Peso total ²	74.06 ± 8.20
De los cuales:	
Epicarpio ²	12.10 ± 5.21
Mesocarpio ²	50.67 ± 7.81
Endocarpio ²	11.29 ± 2.30
<i>Determinación del Color (CIEL*a*b*)</i>	
L*	55.92 ± 3.69
a*	5.59 ± 1.20
b*	20.11 ± 4.58
C*	5.27X10 ⁻⁶ ± 0.00
h*	1.30 ± 0.00

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar de al menos diez repeticiones.¹longitud en milímetros. ²peso en gramos.

El peso promedio total de los frutos del xoconostle evaluados fue de 74.06 ± 8.20 g, de los cuales el 16.33% representa al epicarpio, el 68.42 % al mesocarpio y el 15.24 % corresponde al endocarpio. Los parámetros evaluados, largo, diámetro y peso

total, fueron muy similares a los reportados por Arias-Rico (2020), quién comparó la morfología de los frutos de dos especies distintas de xoconostles, según las coincidencias de sus resultados y las del presente trabajo, corresponden a las características del xoconostle “cuaresmeño”.

5.2. Caracterización proximal

Los resultados que se presentan en el Cuadro 3 corresponden a la caracterización proximal del mesocarpio del xoconostle, sin tratamiento (crudo) y sometido al tratamiento térmico tradicional (cocido). La composición proximal del xoconostle puede variar dependiendo de varios factores como la madurez, la especie, la región y temporada de cosecha de los frutos (Ramadan y col., 2021). El xoconostle crudo presenta un menor contenido de humedad en comparación con el cocido ($p < 0.05$), con una diferencia de 2.43 %. La humedad es el componente más abundante de los frutos del xoconostle y, según la literatura, los valores obtenidos en el proximal se encuentra muy cercano a los propuestos por García (2017), rondando el 90 %.

El contenido de lípidos resultó ser similar para ambas muestras, crudo y cocido, según Guzman-Maldonado (2010) la cantidad de lípidos que el xoconostle aporta a la dieta no es muy elevada, cercano a 0.76 %, un valor más alto al que se reporta en el presente estudio. La proteína en el xoconostle representa 0.19 % para las muestras de xoconostle crudo y 0.16 % para el xoconostle cocido, significativamente más elevado en el xoconostle sin tratamiento térmico ($p < 0.05$). El xoconostle sin tratamiento térmico tiene valores de ceniza significativamente más elevados ($p < 0.05$) en comparación con el cocido, con una diferencia de 38 %. El contenido de carbohidratos resultó de 5.99 % en la muestra cruda y 3.93 % en las muestras cocidas. Los carbohidratos se presentan divididos en fibra total, soluble e insoluble, además se muestra la determinación de pectina. La determinación de fibra es mayor en las muestras sometidas al tratamiento térmico. Tanto para la fibra soluble, como para la pectina, el aumento fue significativo ($p < 0.05$).

Cuadro 3.- Caracterización proximal del Xoconostle *Opuntia spp.*

Componente (g/100 g)	Xoconostle Crudo	Xoconostle Cocido
Humedad	92.92 ± 0.12*	95.35 ± 0.21
Lípidos	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00
Proteínas	0.19 ± 0.00*	0.16 ± 0.00
Cenizas	0.86 ± 0.00*	0.53 ± 0.01
Carbohidratos	5.99 ± 0.04	3.93 ± 0.07
de los cuales:		
Fibra Total	2.78 ± 0.02*	3.13 ± 0.11
Fibra insoluble	1.72 ± 0.03	2.18 ± 0.17
Fibra soluble	1.05 ± 0.01*	0.95 ± 0.01
Pectina	0.77 ± 0.07*	0.82 ± 0.08

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar de al menos tres repeticiones. Asteriscos (*) indican diferencia significativa entre tratamientos por prueba de t* de student (p<0.05).

Es importante mencionar que, después del tratamiento térmico, incrementan los valores de la fibra total a expensas del aumento de la fibra soluble e insoluble, situando al xoconostle cocido como “fuente de fibra” (> 3 g/100 g) según la clasificación establecida por el Reglamento (CE) No 1924/2006 del Parlamento y Consejo Europeo (2006). Se observa un predominio de fibra insoluble con 21.10 % de ganancia. Por otro lado, la fibra soluble tuvo un decremento de 9.52 %. La pectina es uno de los componentes más importantes de la fibra soluble, ya que se encuentra ampliamente distribuido por todo el reino vegetal constituyendo la estructura de las paredes celulares (Chaverri, Pineda, & Monge, 2022). La diferencia del aumento de pectina en las muestras de xoconostle cocido con respecto al crudo fue de 6.97 %, sugiriendo que la mayor parte del incremento de la fibra soluble se debe al incremento de la pectina. Autores como Solarte-Montúfar (2019) o Serrano (2016) ya han descrito el incremento de la fibra dietaria total en matrices vegetales (como la harina de papas y harina de trigo) después de haberlas sometido a un tratamiento térmico. Lupano (2013) propone la interacción de proteínas y taninos, taninos y almidones o proteínas y almidones, formando puentes de hidrógeno entre las cadenas de estas moléculas que interactúan con los carbohidratos mediante el proceso denominado retrogradación de los almidones, construyendo así redes y

estructuras cristalinas que causan un aumento de la fibra dietaria total. Eso podría ofrecer una explicación al aumento de la fibra total observado en las muestras cocidas en comparación con las crudas, sin embargo, habría que estudiar más a fondo la composición química de la fibra dietaria total y de sus fracciones (soluble e insoluble) después de someterse al tratamiento térmico tradicional y las posibles interacciones que contribuyan al cambio mencionado.

5.3. Determinaciones nutracéuticas

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de las determinaciones nutracéuticas. Se presenta el contenido de fenoles totales en el xoconostle crudo y en el cocido, es estadísticamente significativa ($p < 0.05$) la disminución de los fenoles totales después de someter las muestras al tratamiento térmico tradicional, ya que el 45 % de este conjunto de compuestos se ha visto afectado de manera negativa. También se muestra el contenido de flavonoides, que representa una diferencia estadística ($p < 0.05$), pero se observa una disminución de 36 % de estos compuestos después de la cocción. Cabe mencionar que los valores de estos compuestos, comparados con el contenido de fenoles, son bajos, representan entre 3.96 % y 4.58 % de los fenoles totales.

Según Albarici y Pessoa (2012) los compuestos fenólicos pueden ser susceptibles a la luz y a la temperatura. Autores como He y Li (2015) han realizado estudios de la estabilidad térmica de estos compuestos provenientes de papas, propone que su estabilidad puede mantenerse a bajas temperaturas y sin contacto con la luz. Padmashree (2014) propone que esta estabilidad también depende de las propiedades físicas y químicas de la matriz de la cual se han extraído. Investigaciones como la de Díaz (2015) o Sepúlveda (2019) han descrito que la degradación térmica de los fenoles sigue una cinética de primer orden y se encontró que también depende del aumento o disminución de la temperatura.

Es evidente en los resultados la baja de los compuestos fenólicos que se evaluaron después de someter las muestras al tratamiento térmico tradicional, que implica el aumento de calor por 6 minutos. Es importante analizar los efectos del tratamiento térmico en matrices alimenticias como el xoconostle, ya que la forma de consumo de este fruto se lleva a cabo, en su mayoría, después de haber sufrido dicho tratamiento (García, 2017b). Si bien, no se puede controlar la forma de consumo, ahora se pueden conocer las modificaciones nutraceuticas del xoconostle después de someterse al tratamiento térmico tradicional o cocción, que afecta negativamente a los compuestos fenólicos a los cuales se les atribuyen propiedades antioxidantes que ayudan a prevenir enfermedades relacionadas a la oxidación celular como la diabetes tipo 2, osteoporosis, desordenes cardiovasculares, como agente antimutagénico, antitumoral o incluso cáncer (Zapata y col., 2014).

Cuadro 4.- Determinación nutraceutica del Xoconostle *Opuntia spp.*

	Xoconostle Crudo	Xoconostle Cocido
<i>Composición nutraceutica</i>		
Fenoles totales ¹	8.77 ± 0.730*	4.82 ± 0.61
Flavonoides totales ²	347.32 ± 37.10*	220.85 ± 38.70
<i>Capacidad antioxidante</i>		
DPPH ³	2.87 ± 0.69*	1.60 ± 0.24
FRAP ³	3.67 ± 0.16*	2.00 ± 0.18

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar de al menos tres repeticiones de dos extractos realizados. ¹mg equivalentes de ácido gálico/g de muestra en peso seco (PS). ²µg equivalente de rutina/g de muestra (PS). ³mg equivalentes de trolox/g de muestra (PS).

5.4. Capacidad antioxidante

Se muestra en el Cuadro 4 la capacidad antioxidante evaluada con los métodos *in vitro* DPPH y FRAP. La técnica de DPPH es comúnmente utilizada para evaluar la capacidad antioxidante en frutos y alimentos, que ocurre gracias a una reacción de

pseudo primer orden, a la cual se le da seguimiento midiendo su absorbancia en función del tiempo (Salazar, 2019), donde se observa la depleción del radical libre 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo, del cual provienen las siglas DPPH, que recibe un átomo de hidrógeno proporcionado por un agente antioxidante (Guija-Poma, 2015). Los resultados indicaron que ambas muestras, xoconostle crudo y cocido, tuvieron capacidad antioxidante contra el radical DPPH. De forma similar a la disminución de compuestos fenólicos, un descenso de actividad DPPH en las muestras cocidas, con una merma de 44 % en esta actividad.

La técnica FRAP consiste en evaluar la capacidad de reducción del ion férrico al estado ferroso que, en presencia de 2,4,6-Tripiridil-s-triazina, forma un compuesto colorido que puede medirse por espectrofotometría (Mayoral y col., 2019). La muestra sin tratamiento térmico, que mostró mayor actividad antioxidante DPPH, también exhibe una mayor capacidad FRAP, en este caso, rondando el 54 % más que la muestra con tratamiento térmico. Ambos métodos presentan una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre ambos tratamientos.

Se observa que los extractos correspondientes al xoconostle sin tratamiento térmico fueron los que presentaron un mayor contenido de fenoles y flavonoides y también una mayor capacidad antioxidante, tanto en DPPH, como en FRAP. Palomino (2009), encontró que la correlación del contenido de flavonoides con la actividad antioxidante es menor que cuando se evalúa la misma correlación con fenoles totales. Lo que sugiere que otros compuestos fenólicos diferentes a los flavonoides, juegan también un papel importante en la actividad antioxidante (Moreno y Isla, 2000). Se obtuvieron resultados de fenoles totales ligeramente superiores a los que muestra López-Palestina (2023), quien también describió dentro de sus ensayos a las betalaínas, betacianinas y vulgaxiantinas como especies antioxidantes. Flores-Morales (2021) propone también la presencia de betaxantinas y ácido ascórbico, sin embargo, para

esclarecer los compuestos con actividad antioxidante es necesario un análisis cualitativo y cuantitativo a profundidad.

5.5. Simulación de digestión

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de la determinación de la bioaccesibilidad de fenoles totales y flavonoides en cada etapa de la simulación de digestión *in vitro*, que se realizó con la intención de monitorear el posible comportamiento de dichos compuestos al ser ingeridos. La bioaccesibilidad está descrita en puntos porcentuales porque representa la relación del contenido de fenoles o flavonoides (según sea el caso) que resultaron de cada fase individual de la simulación de digestión hasta el intestino delgado, respecto al contenido de los mismos compuestos antes de ser digerida la muestra. Se le llama bioaccesibilidad a la fracción de una matriz alimentaria que es susceptible a atravesar la barrera intestinal, o bien, pasar a la fase colónica como consecuencia de la liberación de dicho componente mediante la digestión (Torres y col., 2018).

Al paso de las etapas del experimento, se llevó a cabo el manejo de las muestras, sometiéndolas a las condiciones más apegadas a la digestión. La modificación de las matrices alimenticias durante la digestión se debe al cambio de los factores fisiológicos que intervienen en el proceso de digestión. La duración de cada etapa, los volúmenes de fluidos digestivos, su composición o el pH del medio son factores que, naturalmente, varían de individuo en individuo (Lamothe, 2014). La intervención de distintos agentes y mecanismos, es la responsable de la liberación, hidrólisis y eventual absorción de nutrientes, incluidas las fuerzas mecánicas y la liberación de fluidos con contenido enzimático u otros compuestos que favorecen dichos cambios (Heredia, 2021).

La fracción digerible del intestino delgado fue tomada como la parte interna un saco de membrana de celulosa cilíndrico, atado por ambos extremos y lleno con 5 ml de

buffer Krebs Ringer, mientras que la fracción no digerible fue representada por el contenido del tubo de ensayo, toda la muestra en digestión que se encontraba fuera del saco mencionado. De acuerdo con Perez-Perez (2018), anatómicamente, la absorción de los fenoles comienza en el íleon y se extiende a lo largo del intestino delgado. Allí logran ser absorbidos nutrientes como vitaminas, electrolitos, carbohidratos, grasa y algunas proteínas (Hualpa y col., 2010). Sin embargo, las estructuras más complejas como glucósidos o ésteres deben ser hidrolizadas por enzimas o por la microbiota intestinal, no pueden ser absorbidas en su forma original (Surco-Laos y col., 2016). Muchos de los compuestos fenólicos no absorbidos en el intestino delgado pasan al intestino grueso donde son metabolizados por la microbiota intestinal o bien, son desechados a través de las heces (Chen, 2015).

Como puede observarse, en la digestión *in vitro* el mayor porcentaje de bioaccesibilidad de fenoles se presentó para la muestra cocida en la etapa de boca (17.17 %), seguido de la muestra cruda en la etapa de boca (16.16 %). Esta misma tendencia se observó en la etapa del estómago y de la fracción no digerible del intestino delgado. Sin embargo, las muestras crudas presentaron una mayor bioaccesibilidad de fenoles en la fracción digerible del intestino delgado (excepto para el minuto 60, en donde la muestra cocida presentó un mayor porcentaje de bioaccesibilidad). Es importante mencionar que la fracción digerible del intestino delgado corresponde a la fracción que es absorbida en esta etapa y que podría alcanzar el torrente sanguíneo.

Respecto a los flavonoides, el porcentaje de bioaccesibilidad fue mayor para la muestra cocida en la etapa de boca (51.75 %), seguida por el estómago y la fracción no digerible del intestino delgado. Con la técnica utilizada en este ensayo, no se detectaron flavonoides en la fracción digerible de la fase del intestino delgado para ambas muestras. Aunque los flavonoides se consideran compuestos de bajo peso molecular, se encuentran constituidos por un esqueleto común formado por dos

anillos de fenilo que se ligan con un anillo C de pirano, estructura que ofrece un amplio conjunto de patrones y variaciones de sustitución que da paso a otros grupos de flavonoides más complejos (Hernández y col., 2019).

Los compuestos fenólicos flavonoides son más complejos que muchos de los compuestos no flavonoides, según la clasificación de Perez-Perez (2018). Los fenoles no flavonoides son los que se ven favorecidos por la absorción hacia la fracción digerible, la bioaccesibilidad disminuye en función de la concentración de estos analitos y de la que exhibieron antes de someterse a la simulación, lo que refleja su degradación paulatina durante el experimento, partiendo de la escasez de flavonoides en el xoconostle. Esto ofrece una posible explicación de la falta de los flavonoides a través de la simulación de digestión, además de los factores degradativos para los fenoles en general previamente discutidos, como la temperatura, la luz, la interacción con otros compuestos.

Cuadro 5.- Bioaccesibilidad de compuestos fenólicos durante las etapas de la digestión *in vitro*.

Tratamiento	Fenoles totales		Flavonoides totales			
	Crudo	Cocido	Crudo	Cocido		
Boca	1418.00 ± 66.20 ^A (16.16)	827.70 ± 90.50 ^A (17.17)	149.13 ± 1.80 ^A (42.94)	114.29 ± 9.18 ^A (51.75)		
Estómago	677.20 ± 74.60 ^B (7.72)	565.10 ± 22.30 ^B (11.72)	58.50 ± 16.70 ^C (16.84)	71.20 ± 24.00 ^A (32.24)		
Intestino delgado	FRACCIÓN NO DIGERIBLE	15 min	220.60 ± 23.60 ^C (2.51)	119.95 ± 0.80 ^C (2.49)	102.04 ± 0.17 ^B (29.38)	85.60 ± 29.00 ^A (38.76)
		30 min	169.46 ± 1.68 ^{*CD} (1.93)	125.85 ± 0.38 ^C (2.61)	81.82 ± 10.23 ^B ^C (23.56)	63.00 ± 15.00 ^A (28.53)
		60 min	90.45 ± 11.09 ^{CD} (1.03)	106.90 ± 6.72 ^C (2.22)	72.87 ± 1.63 ^C (20.98)	58.10 ± 24.70 ^A (26.31)
	FRACCIÓN DIGERIBLE	15 min	25.41 ± 7.06 ^D (0.29)	8.73 ± 1.35 ^C (0.18)	0 ^D	0 ^B
		30 min	34.72 ± 2.16 ^{*D} (0.40)	9.86 ± 1.61 ^C (0.20)	0 ^D	0 ^B
		60 min	48.62 ± 9.64 ^D (0.55)	30.80 ± 0.72 ^C (0.64)	0 ^D	0 ^B

Los datos se presentan como la media ± desviación estándar de al menos tres repeticiones, y se expresan en mg equivalentes de ácido gálico para fenoles totales y mg equivalentes de rutina para flavonoides totales. Los valores entre paréntesis expresan la bioaccesibilidad (%). Las diferentes letras en la misma línea indican una diferencia significativa ($p < 0.05$) por prueba de Tukey. Asteriscos (*) indican diferencia significativa entre tratamientos por prueba de t^* de student ($p < 0.05$).

5.6. Capacidad antioxidante de los digestos

La Figura 3 presenta el gráfico de líneas para los resultados de la capacidad antioxidante de las etapas de la simulación de digestión *in vitro*. Tanto para la etapa de boca, como para estómago se puede observar una disminución de la capacidad antioxidante, mientras que en la fase del intestino delgado hay un alza en la que los valores resultan superiores a la de la fase de estómago. Según Angosto (2014) en el estómago es donde se hacen notar cambios químicos en el bolo alimenticio, como la desnaturalización de proteínas, hidrolisis de grasa y un conjunto de procesos alimento-enzima que dan paso a la pérdida de la forma original de lo ingerido y que, mediante movimientos de contracción que dividen el bolo en pequeñas porciones para atravesar el intestino delgado y favorecen así la disposición de los nutrientes para ser absorbidos. Este fenómeno podría sugerir que parte de los compuestos liberados en esta etapa de la digestión podrían ser los fenoles a los que se les atribuye la actividad antioxidante DPPH y por eso se genera el incremento de esta actividad.

La capacidad antioxidante DPPH de los extractos de las muestras crudas fueron mayores en comparación con los de las muestras cocidas, excepto en el último punto de la fase no digerible. Como se discutió anteriormente, es en el intestino delgado donde se absorbe la mayoría de los nutrientes, incluidos los polifenoles (Perez-Perez y Rueda-Puente, 2018), por lo que se vería reflejado como un decrecimiento de los valores de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante a la que se encuentran ligados estos compuestos en la fracción no digerible y el aumento de estos en la fracción digerible. En el último punto de la fase no digerible, puede observarse un alza en la capacidad antioxidante de las muestras cocidas por encima de la de las crudas. Este fenómeno no corresponde al comportamiento esperado de los extractos, pero podría sugerir que hay un incremento de degradación de compuestos antioxidantes en el lapso de 60 minutos de incubación de esta fase para las muestras sin tratamiento térmico, y una moderación de la misma para las muestras con tratamiento térmico, ya que en el mismo punto incrementa su actividad.

DPPH de las fases de la simulación de digestión *in vitro*

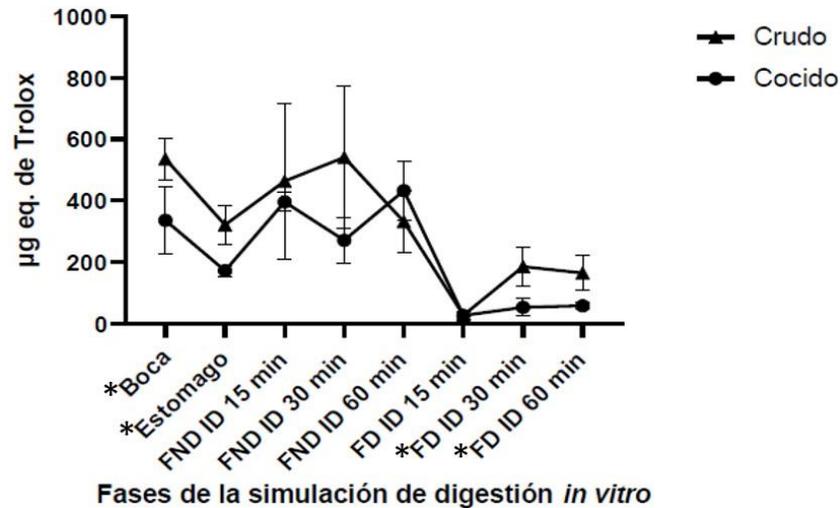


Figura 3.- Capacidad antioxidante durante las etapas de digestión *in vitro*. Fracción No Digerible del Intestino Delgado (FND ID), Fracción Digerible del Intestino Delgado. Asteriscos (*) indican diferencia significativa entre tratamientos por prueba de t* de student ($p < 0.05$).

El gráfico para la prueba FRAP fue omitida debido a la escasa actividad antioxidante en dicho experimento. Valenzuela (2015), propone en su estudio una relación estructura-actividad antioxidante, que supone a los grupos OH del anillo B y al grupo 3-OH libre de la estructura de los flavonoides como el principal atributo del poder antioxidante reductor del hierro, FRAP, la neutralización de radicales y la superioridad que poseen estos compuestos para inhibir el daño oxidativo inducido por metales y no metales. El grupo de los flavonoides es el más amplio de todos los fenoles, ya que se encuentra extendido en toda la naturaleza, incluso son los que exhiben un mayor potencial antioxidante (Perez-Perez y Rueda-Puente, 2018). Los escasos niveles de flavonoides, observados incluso desde los análisis de los extractos metanólicos de las muestras, en conjunto con los factores de degradación discutidos previamente, ofrecen una posible explicación de la ausencia de actividad antioxidante FRAP y permite afirmar que los compuestos fenólicos no flavonoides

son los responsables del potencial antioxidante de la pulpa del Xoconostle *Opuntia spp.*

5.7. Capacidad antiinflamatoria

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de la evaluación de la capacidad antiinflamatoria. En este experimento se analizaron las fracciones digeribles de la fase del intestino delgado de la digestión *in vitro*. Ninguno de los tiempos de muestreo es significativamente diferente entre sí ($p > 0.05$), pero puede observarse una tendencia al aumento al paso del tiempo de incubación en esta fase.

El nivel máximo de protección para las células rojas fue de 35.68 % para los extractos de las muestras sin tratamiento térmico y 39.42 % para aquellos con tratamiento térmico, comparado con el estándar de diclofenaco a una concentración de 500 mg/ml. El mecanismo de acción de los medicamentos antiinflamatorios consiste en la oxidación del ácido araquidónico, lo cual inhibe la enzima ciclooxigenasa, evitando que se convierta en prostaglandinas y no se presenten los factores de inflamación (Canul, 2022). Das (2015), quien consideró la membrana de los eritrocitos como un modelo de la membrana lisosomal, ha realizado estudios que proponen que la presencia de fenoles como los flavonoides o los taninos en extractos metanólicos puede atribuir actividad antiinflamatoria por estabilización de membrana de células rojas humanas por mecanismos similares al de los medicamentos antiinflamatorios. La actividad antiinflamatoria observada podría atribuirse a la presencia de polifenoles presentes en los extractos, pero también a otros compuestos del xoconostle que no fueron evaluados en este trabajo. Esto se propone ya que la muestra cocida presenta un menor contenido de fenoles en la fracción digerible del intestino delgado, comparado con la muestra cruda.

Cuadro 6.- Evaluación de la capacidad antiinflamatoria.

Tratamiento	Fracción digerible		
	15 min	30 min	60 min
Crudo	26.77 ± 4.28 A	31.05 ± 1.51 A	35.68 ± 11.28 A
Cocido	30.61 ± 2.07 A	39.42 ± 5.88 A	37.75 ± 6.96 A

Los datos se presentan como la media ± desviación estándar de al menos tres repeticiones y se expresan en % de estabilidad vs. la proporcionada por 500 mg de diclofenaco (100%). Las diferentes letras en la misma línea indican una diferencia significativa ($p < 0.05$) por prueba de Tukey.

Los autores, Gadamasetty (2013) y Das (2015), ya han reportado resultados de capacidad antiinflamatoria obtenida con este método. Las matrices vegetales que utilizaron fueron *Euphorbia* de jardín y *Terminalia citriana*, cuya protección para las células rojas ronda el 85 y 67 %, respectivamente. Cabe mencionar que los extractos utilizados en estos trabajos no fueron obtenidos como producto de una simulación de digestión, sino que sus compuestos seleccionados fueron extraídos con metanol. Además de las diferentes matrices de estudio, esto podría ofrecer una explicación de por qué los valores de los digestos del xoconostle son menores a los que ofrece la literatura.

6. CONCLUSIÓN

La presente investigación ha determinado que el tratamiento térmico tradicional, o cocción, ocasiona cambios químicos y nutracéuticos en el mesocarpio del xoconostle reflejando dichos cambios de manera negativa en la bioaccesibilidad evaluada con un modelo de digestión *in vitro* para los compuestos bioactivos fenólicos como los flavonoides, compuestos ligados a la actividad antioxidante.

Por otro lado, la cocción causó cambios que favorecieron a la composición nutracéutica, como el aumento de la fibra dietaria. Se ha determinado el incremento de la capacidad antiinflamatoria *in vitro* en los digestos de esta matriz, lo que sugiere que el Xoconostle *Opuntia spp.* es un alimento con potencial atenuante de los factores de inflamación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, S., Aguilera, A., & Rubio, T. (2019).** Estrés oxidativo y antioxidantes: efectos en el embarazo. *Revista Médica Sinergia*. 4(05), 89-100.
- Aguirre, P. (2019).** Alimentos funcionales entre las nuevas y viejas corporalidades. *Revista de Antropología Iberoamericana*. 14(1), 95-120.
- Albarici, T., & Pessoa, J. (2012).** Effects of heat treatment and storage temperature on the use of açai drink by nutraceutical and beverage industries. *Food Science and Technology*. 9-14.
- Albensi, B. (2019).** What Is Nuclear Factor Kappa B (NF- κ B) Doing in and to the Mitochondrion? *Frontiers in cell and developmental biology*. 7, 154.
- Alharbi, K., Fuloria, N., Fuloria, S., Rahman, S., Al-Malki, W., Shaikh, M., & Gupta, G. (2021).** Nuclear factor-kappa B and its role in inflammatory lung disease. *Chemico-Biological Interactions*. 345, 109568.
- Alonso-Guerrero, D. (2019).** Propiedades antioxidantes de xoconostle del estado de Guanajuato Antioxidant properties of xoconostle of three localities of the state of Guanajuato. *DIRECTORIO CAMPUS IRAPUATO SALAMANCA*. 11.
- Álvarez, N. (2020).** Las grasas y su importancia biológica para el adecuado crecimiento y desarrollo de los niños. *Boletín El Palmicultor*. 586(Diciembre), 7-9.
- Angosto, M., & Villarejo, A. (2014).** Fisiología del aparato digestivo. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*. 16-17.
- Arias-Rico, J., Cruz-Cansino, N., Cámara-Hurtado, M., López-Froilán, R., Pérez-Rodríguez, M., Sánchez-Mata, M., & Ramírez-Moreno, E. (2020).** Study of xoconostle (*Opuntia* spp.) Powder as source of dietary fiber and antioxidants. *Foods*. 9(4), 403.
- Benzie, I., & Strain, J. (1996).** The ferric reducing ability of plasma (frap) as a measure of "antioxidant power": The frap assay. *Analytical biochemistry*. 239(1), 70-76.
- Blancas-Flores, G., Almanza-Pérez, J., López-Roa, R., Alarcón-Aguilar, F., García-Macedo, R., & Cruz, M. (2010).** La obesidad como un proceso inflamatorio. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*. 67(2), 88-97.
- Calizaya-Mamani, U., & Sotelo-Méndez, A. (2023).** La fibra dietaria, importante componente fisicoquímico: un caso peruano. *Ecnología Química*.

- Campos-Rodriguez, J. (2022).** Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*. 13(3), 209-220.
- Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J., Guzman-Maldonado, S., Paredes-Lopez, O., & Loarca-Piña, G. (2009).** Chemical composition and in vitro polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food science*. 74(7), T59-T65.
- Canul, A. (2022).** Mecanismo de los AINES y antiinflamatorios derivados para el control del dolor y la inflamación. Uso de antiinflamatorios en odontología. *Revista de la Asociación Dental Mexicana*. 79(1), 38-47.
- Caracuel, Á. (2008).** Técnicas de cocción saludables aplicables. Andalucía, España: Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental.
- Cardona, M., Muñoz, A., & Bedoya, S. (2019).** Comparación de tres métodos de cocción y su influencia en el índice de biodisponibilidad de la proteína de la carne de res. *Corporación Universitaria Lasallista*.
- Carvajal, C. (2019).** Lípidos, lipoproteínas y aterogénesis. San José, Costa Rica: EDNASSS.
- Castillo, C. (2019).** Efecto de la aplicación de *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter vinelandii* y *Pseudomonas fluorescens* sobre la producción de Flavonoides en *Calendula officinalis*. Pontificia universidad javeriana.
- Castro, j. (2021).** Especies de plantas colombianas con potencial antiinflamatorio sobre modelos de inflamación tópica y enfermedad inflamatoria intestinal. Instituto de investigaciones inmunológicas. Universidad de cartagena.
- Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. (2020).** Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión. *Revista chilena de nutrición*. 47(5), 836-847.
- Chamorro, R., & Mamani, E. (2010).** Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*. 1(1).

- Chaquilla-Quilca**, G., Balandrán-Quintana, R., Mendoza-Wilson, A., & Mercado-Ruiz, J. (2018). Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. *Cienciauat*. 12(2), 137-147.
- Chaverri**, E., Pineda, M., & Monge, V. (2022). Pectinas cítricas modificadas para el tratamiento del cáncer de colon. *Investfarma*. 2(1).
- Chawla**, R., & Patil, G. (2010). Soluble Dietary Fiber. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*. 9(2), 178-196.
- Chen**, P. (2015). Physicochemical properties and in vitro digestibility of cooked regular and nondarkening cranberry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) And their effects on bioaccessibility, phenolic composition, and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63(48), 10448-10458.
- Cortez-García**, R., Ortiz-Moreno, A., Zepeda-Vallejo, L., & Necochea-Mondragón, H. (2015). Effects of cooking methods on phenolic compounds in xoconostle (*Opuntia joconostle*). *Plant Foods for Human Nutrition*. 70, 85-90.
- Das**, N., Goshwami, D., Hasan, M., Mahmud, Z., Raihan, S., & Sultan, M. (2015). Evaluation of antinociceptive, anti-inflammatory and anxiolytic activities of methanolic extract of *Terminalia citrina* leaves. *Asian Pacific journal of tropical disease*. 5, S137-S141.
- Delgado**, J., & Dolores, P. (2021). Situación nutricional en el sobrepeso y la obesidad y el papel que tiene la dietología. *Psic-Obesidad*. 9(33).
- Díaz**, G., Mendoza, E., & Vidaurre, J. (2015). Cinética de la degradación de betalainas y fenoles totales durante la cocción de la quinua (*Chenopodium quinoa*). *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*.
- Drezner**, T. (2020). The importance of microenvironment: *Opuntia* plant growth, form and the response to sunlight. *Journal of Arid Environments*. 178, 104144.
- Ensastiga**, T., & Galván, M. (2022). Adaptaciones de la dieta mediterránea a la alimentación de la población mexicana. *Ducación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. 10(20), 232-236.
- Flores**, L., Ruiz, A., & Oscanoa, A. (2021). Protocolo para determinación de cenizas de microalgas liofilizadas. *Instituto del Mar del Perú*.

- Flores-Morales, A. (2021).** Caracterización morfológica y bromatológica del fruto de xoconostle en diferentes estadios de maduración. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 8(2), 9-19.
- Fukumoto, L., & Mazza, G. (2000).** Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *G. J. J. O. A. & Chemistry f.* 48(8), 3597-3604.
- Gadamsetty, G., Maru, S., Tyagi, A., & Chakravarthula, S. (2013).** Anti-inflammatory, cytotoxic and antioxidant effects of methanolic extracts of *Drypetes sepiaria* (Euphorbiaceae). *Afr J Tradit Complement Altern Med*. 10(5): 274-82.
- Gadamsetty, G., Maru, S., Tyagi, A., & Chakravarthula, S. (2013).** Anti-inflammatory, cytotoxic and antioxidant effects of methanolic extracts of *Drypetes sepiaria* (Euphorbiaceae). *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 10(5), 274-282.
- Gallegos-Vázquez, C., Scheinvar, L., Silos-Espino, H., Fuentes-Hernandez, A., Martínez-González, C., Olalde-Parra, G., & Gallegos-Luevano, N. (2014).** Sainero: new variety of xoconostle for the northern region of central Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*. 5(6), 1125-1131.
- García, M. (2017a).** Evaluación del contenido nutrimental, fibra dietética y propiedades antioxidantes de dos variedades de xoconostle (*Opuntia*, spp). Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- García, A. (2017b).** Físicoquímica y propiedades antioxidantes de xoconostle burro (*Opuntia joconostle* Weber). Veracruz, México: Colegio de Postgraduados.
- García, E., & Fernández, I. (2012).** Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015).** Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. *Universitat Politècnica de València*. 2-8.
- Garrido, G. (2013).** Fenoles y flavonoides totales y actividad antioxidante de extractos de hojas de *Lampaya medicinalis* F. Phil. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*. 1(1), 30-38.
- Gómez, C., & Palma, S. (2013).** Una visión global, actualizada y crítica del papel del azúcar en nuestra alimentación. *Nutrición Hospitalaria*. 28, 1-4.

- Gomez, J. (2022).** Caracterización y estudios de bioaccesibilidad de un nuevo alimento desarrollado a partir de pitaya amarilla. Universitat Politècnica de Valencia. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo.
- Guija-Poma, E. (2015).** Evaluación de la técnica 2, 2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte médico*. 15(1), 57-60.
- Gutiérrez, M. (2018).** Calidad de suelo y frutos de xoconostle (*Opuntia spp.*) Cultivados y silvestres en el estado de Hidalgo. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad de Hidalgo.
- Guzmán-Maldonado, S., Morales-Montelongo, A., 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-Mexico Region. *Journal of Food Science*. 75(6), C485-C492.
- He, X., & Li, X. (2015).** Composition and color stability of anthocyanin-based extract from purple sweet potato. *Food Science and Technology*. 468-473.
- Heredia, A. (2021).** Simulación in vitro de la digestión gastrointestinal de alimentos. Universidad Politècnica de València.
- Hernández, S., Marino, L., Isern, D., Coria, I., & Irurzun, I. (2019).** Flavonoides: aplicaciones medicinales e industriales. *Invenio*. 22.
- Hualpa, J., Torres, N., Hernández, J., & Aparicio, P. (2010).** Soporte nutricional en pacientes con fístulas del tubo digestivo y/o síndrome de intestino corto. En J. Hualpa, *Dietoterapia, nutrición clínica y metabolismo*. España: Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición. 445.
- Jaramillo-Flores, M., González-Cruz, L., Cornejo-Mazon, M., Dorantes-Alvarez, L., Gutierrez-Lopez, G., & Hernandez-Sanchez, H. (2003).** Effect of thermal treatment in the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus.indica*). *Food Science and Technology International*. 9(4), 271-278.
- Jiménez-León, M. (2021).** CONSUMO DE AZÚCARES LIBRES Y SUS EFECTOS NEGATIVOS EN LA SALUD. *Qualitas*. 22(22), 073-089.
- Lamothe, S. (2014).** Interaction of green tea polyphenols with dairy matrices in a simulated gastrointestinal environment. *Food & function*. 5(10), 2621-2631.

- Ligarda, C.,** Repo-Carrasco, R., Encina, C., Herrera, I., & Quinde-Axtell, Z. (2012). Extracción con soluciones neutra y alcalina para el aislamiento de fibra soluble e insoluble a partir de salvado de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) Y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen.). *Revista de la Sociedad Química del Perú.* 78(1), 53-64.
- Lintas, C.,** Cappelloni, M., Montalbano, S., & Gambelli, L. (1995). Dietary fibre in legumes: effects of processing. *European Journal of Clinical Nutrition.*
- López-Palestina, C.** (2023). El fruto de *Opuntia oligacantha* var. Ulapa, fuente potencial de fitoquímicos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos.* 8(1), 208-213.
- Lupano, C.** (2013). Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. Argentina: edulp.
- Manzur, F.,** Alvear, C., & Alayón, A. (2011). Papel de la proteína C reactiva en las enfermedades cardiovasculares. *Revista Colombiana de Cardiología.* 18(5), 273-278.
- Márquez, B.,** Dyner, M., & López, B. (2020). Aporte de energía, macronutrientes y fibra de alimentos farináceos libres de gluten elaborados a partir de premezclas comerciales. *Diaeta.* 38(173), 13-27.
- Mayoral, J.,** Hernández, M., & Silveti-Loeza, A. (2019). Análisis de la actividad antioxidante en la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) Mediante las técnicas FRAP y DPPH. *RD-ICUAP.* 5(14).
- Medina, L.,** Montiel, R., Rosas, J., González, D., & Fuentes, A. (2014). Caracterización nutricional de salsas a base de Xoconostle (*Opuntia oligacantha* CF Först). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan.* 2(1), 76-80.
- 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 B-glucosidase Enzymatic Activity by Applying Aqueous Extracts of *Opuntia oligacantha* C.F. Först Acid Fruits: In Vitro Essay under Simulated Digestive Conditions. *Applied Sciences, Applied Sciences.*

- Méndez, M., Torres, A., Acuña, J., & Moguel, J. (2020).** Alimentos funcionales, bases conceptuales y su aplicación en el diseño de planes de alimentación. *Revista Biociencias Universidad Alfonso X el Sabio.* 15(1).
- Moncada, L., & Gualdrón, L. (2006).** *European Journal of Clinical Nutrition.* Bogotá, Colombia: Universidad La Salle.
- Moreno, M., & Isla, M. (2000).** Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *Journal of ethnopharmacology.* 71(1-2), 109-114.
- Moscovich, F., & Brena, D. (2006).** Comprobación de cinco métodos de muestreo forestal en un bosque nativo de *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze. Quebracho (Santiago del Estero). (13), 7-16.
- Oomah, B., Cardador-Martínez, A., & Loarca-Piña, G. (2005).** Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 85(6), 935-942.
- Osorio-Esquivel, O., Álvarez, V., Dorantes-Álvarez, L., & Giusti, M. (2011).** Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. *Food Research International.* 44(7), 2160-2168.
- Padmashree, A., & Sharma, G. (2014).** Antioxygenic activity of *Solanum nigrum* L. Leaves in sunflower oil model system and its thermal stability. *Food and Nutrition Sciences.* 1022-1029.
- Palomino, L., García, C., ROJANO, B., & Diego, L. (2009).** Determinación del contenido de fenoles y evaluación de la actividad antioxidante de propóleos recolectados en el departamento de Antioquia (Colombia). *Vitae.* 16(3), 388-395.
- Parlamento y Consejo Europeo. UE. (2006).** Reglamento (CE) 1924/2006 del parlamento europeo y del consejo del 20 de diciembre del 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. *D Of La Unión Eur.* 9-25.
- Perales-Vázquez, G., Mercado-Mercado, G., Rosa, L., & Sáyago-Ayerdi, S. (2020).** Bioaccesibilidad y cinética de liberación in vitro de compuestos fenólicos en algunas salsas de la cocina mexicana. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas.* 23.

Perez-Perez, L., & Rueda-Puente, E. (2018). Liberación de compuestos fenólicos ligados en el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Utilizando microbiota humana intestinal. *Biotecnia*. 20(3), 146-154.

Ramadan, M., Ayoub, T., & Rohn, S. (2021). *Opuntia* spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications. Suiza: Springer.

Reyes, S., Casanova, E., Romero, D., Horna, L., & Lopez, C. (2013). Capacidad antioxidante in vitro de los flavonoides totales obtenidos de las hojas de *Sambucus peruviana* HBK (sauco) proveniente de la ciudad de Huamachuco. *Revista Farmaciencia*. 1(2), 57-64.

Rodríguez, I. (2016). Pretratamiento de hidrólisis Hidrotérmica para la degradación de los carbohidratos complejos de residuos de frutas para la obtención de bioetanol. Universidad de Oviedo.

Rodríguez, R., & García, J. (2018). Comportamiento de las enfermedades crónicas no transmisibles en adultos mayores. *Revista de Enfermedades No Transmisibles Finaly*. 8(2), 103-110.

Rodríguez-López, R., Perdomo-Morales, A., & Rodríguez-Mambuca, R. (2013). La calidad del agua destilada en la determinación de cenizas conductimétricas en azúcares crudos. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). 47(2), 31-34.

Rubio, E., & Zurita, S. (2023). Estudio comparativo de la concentración fenólica total y su actividad antioxidante en los extractos de granada (*púnica granatum*) y mortiño (*vaccinium meridionale*) en dos zonas de cultivo del Ecuador. Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.

Salazar, P. (2019). Validación de la técnica de DPPH-CLAR como método para la actividad antioxidante de metabolitos secundarios hidrofílicos extraídos de actinobacterias. Universidad Autónoma Metropolitana.

Sánchez, M., Marsán, V., Pino, D., Domínguez, G., & Macías, C. (2018). Aspectos más relevantes del síndrome periódico asociado al receptor del factor de necrosis tumoral. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*. 34(1), 5-20.

- Scheinvar, L., & Sule, C. (2010).** Probable centro de Origen y Diversidad Genética de los Xoconostles de la República Mexicana. Congreso Mexicano de Botánica. Simosio Centros de Origen.
- Sepúlveda, C., & Zapata, J. (2019).** Efecto de la Temperatura, el pH y el Contenido en Sólidos sobre los Compuestos Fenólicos y la Actividad Antioxidante del Extracto de Bixa orellana L. Información tecnológica. 57-66.
- Serrano, M. (2016).** Estudio de la cinética de retrogradación del almidón y del endurecimiento de la miga de panes libres de gluten (Master's thesis). Universidad Nacional De Córdoba.
- Shiga, T., Lajolo, F., & Filisetti, T. (2003).** Cell wall polysaccharides of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Food Science and Technology. 23, 141-148.
- Singleton, V., & Rossi, J. (1965).** Colorimetry of total phenolics with photomolybdic-phototungstic acid reagents. American journal of Enology and Viticulture. 16(3), 144-158.
- Smith, C., & Tucker, K. (2011).** Health benefits of cereal fibre: A review of clinical trials. Nutrition Research Reviews. 24(1), 118-131.
- Solarte-Montúfar, J., Díaz-Murangal, A., Osorio-Mora, O., & Mejía-España. (2019).** Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. Información tecnológica. 30(6), 35-44.
- Surco-Laos, F., Valle, M., Loyola, E., Dueñas, M., & Santos, E. (2016).** Actividad antioxidante de metabolitos de flavonoides originados por la microflora del intestino humano. Revista de la Sociedad Química del Perú. 82(1), 29-37.
- Tirado, D., Montero, P., & Acevedo, D. (2015).** Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la Determinación de Humedad de varias Matrices Alimentarias. Información Tecnológica. 26(2), 03-10.
- Torres, A., Cova, A., & Valera, D. (2018).** Efecto del proceso de germinación de granos de Cajanuscajan en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral. Revista chilena de nutrición. 45(4), 323-330.
- Valenzuela, P. (2015).** Evaluación de la actividad antioxidante y determinación del contenido de fenoles totales y flavonoides de hojas de diferentes genotipos de *Ugni molinae* Turcz. Universidad de Chile. 38.

Vásquez, M. (2015). Estudio fitoquímico y cuantificación de flavonoides totales de las hojas de *Piper peltatum* L. Y *Piper aduncum* L. Procedentes de la región Amazonas. In *Crescendo*. 6(1), 33-43.

Zapata, S., Piedrahita, A., & Rojano, B. (2014). Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. *Perspectivas en nutrición humana*. 16(1), 25-36.

Zou, S., Tong, Q., Liu, B., Huang, W., Tian, Y., & Fu, X. (2020). Targeting STAT3 in Cancer Immunotherapy. *Molecular Cancer*. 19(1), 1-19.

8. Anexos

- 8.1. Consentimiento informado para la participación en la investigación:
donador de saliva

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Química

“Carta consentimiento para participar en el proyecto de investigación”

Título del protocolo:

“EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO TRADICIONAL DEL Xoconostle
(*Opuntia spp.*) SOBRE LA BIOACCESIBILIDAD *IN VITRO* DE COMPUESTOS
FITOQUÍMICOS Y SU ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA”

Investigador principal: Dra. Rocio Campos Vega

Sede donde se realizará el estudio: Departamento de Investigación y Posgrado de
Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro.

INVITACIÓN

A usted se le está invitando a participar en este estudio de investigación. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender los puntos desglosados en este documento. Este proceso se conoce como *consentimiento informado* y tiene como finalidad obtener su aceptación de forma escrita para participar en el estudio. Siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

Una vez que haya comprendido el estudio y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme esta forma de consentimiento, de la cual se le entregará una copia firmada y fechada.

1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Se ha demostrado que algunos compuestos que se encuentran en el fruto de xoconostle están directamente relacionados con un mecanismo específico de protección contra diversas enfermedades crónicas. Para esclarecer el funcionamiento de estos compuestos es importante comprender como son transformados durante la digestión gastrointestinal, ya que en base a su forma química pueden ser aprovechados y cumplir su función en los tejidos del organismo o ser desechados por el organismo.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Determinar la bioaccesibilidad *in vitro* de compuestos con actividad biológica del xoconostle fresco y cocinado, utilizando un modelo simulación de digestión gastrointestinal.

3. BENEFICIOS DEL ESTUDIO

Este estudio permitirá conocer el efecto de compuestos bioactivos que contiene el xoconostle crudo y cocido sobre el sistema digestivo.

4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Usted podrá participar en este estudio siempre y cuando haya consumido su último alimento al menos 90 minutos antes del inicio del ensayo. Además, encontrarse libre de caries dental y no haber cepillado sus dientes con pasta dental o cualquier otro producto para el aseo bucal, solamente con agua natural.

5. PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO

Su participación consiste en la donación de saliva, la cual se realizará mediante enjuagues con agua pura y su colocación en un contenedor proporcionado por el investigador. Esta muestra será utilizada ÚNICAMENTE con fines académicos para el estudio de investigación mencionado.

En caso de aceptar participar en el estudio usted seguirá el siguiente procedimiento:

Usted tendrá que asistir el día y hora señalados al laboratorio de Bioquímica Toxicológica del Posgrado de Alimentos, Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Antes de iniciar el ensayo, se le pedirá enjuagarse la boca con agua pura y coleccionar el enjuague en un vaso. Se le solicitará que realice tres enjuagues más, durante 15 segundos, descargando el contenido en vasos distintos. Esto se repetirá en dos días diferentes.

6. RIESGOS ASOCIADOS CON EL ESTUDIO

Este estudio consta de una sola fase en la que realice sus enjuagues para la donación de saliva. Si los 90 minutos de ayuno no afectan a su salud, este procedimiento no implica ningún riesgo para usted. No obstante, si en el tiempo en que se está realizando el análisis, presenta malestar, será excluido de la evaluación y enviado a recibir asistencia médica por parte del personal médico de la clínica de salud integral SUSalud de la Facultad de Química (edificio 1) en Centro Universitario de la Universidad Autónoma de Querétaro, en donde se realizará un seguimiento y monitoreo de la salud del personal.

En caso de que usted desarrolle algún efecto adverso secundario o requiera otro tipo de atención, ésta se le brindará en los términos del apartado 6.

7. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS

Los recipientes y tubos de ensayo que haya tenido contacto con saliva se inactivarán sumergiéndolos en una solución de cloro durante 10 minutos, al igual que la saliva que no se haya utilizado y se desechará por la tarja.

8. ACLARACIONES

- Su decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria.
- No habrá ninguna consecuencia para usted en caso de no aceptar la invitación.
- Si decide participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee.
- No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio.
- No recibirá pago por su participación.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo al investigador responsable.
- En caso de que usted desarrolle algún efecto adverso secundario no previsto, se le proporcionará el cuidado médico apropiado, siempre que estos efectos sean consecuencia de su participación en el estudio, previamente valorado por el médico.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador corresponsable, Dra. Rocio Campos Vega al teléfono: 442 343 2168.
- La información obtenida en este estudio, utilizada para la identificación de cada paciente, será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigadores.
- Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación, puede, si así lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado que forma parte de este documento.

9. INFORMACIÓN DE CONTACTO

Si tiene alguna pregunta acerca de su participación o desea la opinión de otra persona fuera del estudio, usted puede consultar al médico de su confianza.

En caso de que tenga cualquier pregunta acerca del proyecto o en caso de una emergencia, llame al número 419 120 2164, con el estudiante José Manuel Piña Rivera.

10. CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Acepto participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Firma del participante

Fecha de la firma

Testigo 1

Fecha

Testigo 2

Fecha

He explicado al Sr(a). _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apego a ella.

Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

Firma del investigador

Fecha

11. CARTA DE REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

Título del protocolo: EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO TRADICIONAL DEL
Xoconostle (*Opuntia spp.*) SOBRE LA BIOACCESIBILIDAD *IN VITRO* DE
COMPUESTOS FITOQUÍMICOS Y SU ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA

Investigador principal: Dra. Rocio Campos Vega

Sede donde se realizará el estudio: Departamento de Investigación y Posgrado de
Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro.

Nombre del participante: _____

Por este conducto deseo informar mi decisión de retirarme de este protocolo de
investigación por las siguientes razones: (Opcional)

Nombre del participante

Firma del participante o del padre o tutor

Fecha de la firma

- 8.2. Consentimiento informado para la participación en la investigación: toma de muestra sanguínea.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Química

“Carta consentimiento para participar en el proyecto de investigación”

Título del protocolo:

“EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO TRADICIONAL DEL Xoconostle (*Opuntia spp.*) SOBRE LA BIOACCESIBILIDAD *IN VITRO* DE COMPUESTOS FITOQUÍMICOS Y SU ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA”

Investigador principal: Dra. Rocio Campos Vega

Sede donde se realizará el estudio: Departamento de Investigación y Posgrado de Alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro.

INVITACIÓN

A usted se le está invitando a participar en este estudio de investigación. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender los puntos desglosados en este documento. Este proceso se conoce como *consentimiento informado* y tiene como finalidad obtener su aceptación de forma escrita para participar en el estudio. Siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

Una vez que haya comprendido el estudio y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme esta forma de consentimiento, de la cual se le entregará una copia firmada y fechada.

1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Se ha demostrado que algunos compuestos que se encuentran en el fruto de xoconostle están directamente relacionados con un mecanismo específico de protección contra diversas enfermedades crónicas ligadas a la inflamación. Para esclarecer el mecanismo de acción de estos compuestos es importante comprender cómo se comportan al entrar en contacto con los tejidos del organismo.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Evaluar la capacidad antiinflamatoria de compuestos de la pulpa del xoconostle después de someterse a una simulación de digestión gastrointestinal.

3. BENEFICIOS DEL ESTUDIO

Este estudio permitirá conocer la actividad antiinflamatoria *in vitro* de los compuestos con actividad biológica que contiene el xoconostle crudo y cocido sobre glóbulos los rojos.

4 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Usted podrá participar en este estudio siempre y cuando no haya consumido Medicamentos Antiinflamatorios No Esteroideos (AINEs) por lo menos dos semanas antes de la donación. La aspirina, ibuprofeno, ketoprofeno, celecoxib, diclofenaco y ketorolaco, son algunos ejemplos de dichos medicamentos. No importa su tipo de sangre.

5. PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO

Su participación consiste en la donación de sangre mediante venopunción; esta muestra será utilizada ÚNICAMENTE con fines académicos para el estudio de investigación mencionado.

La venopunción es la técnica de extracción de sangre con la que se perfora una vena con una aguja o catéter para su recolección. El método comúnmente utilizado en los laboratorios de análisis clínicos.

En caso de aceptar participar en el estudio usted seguirá el siguiente procedimiento:

Usted tendrá que asistir el día y hora señalados al laboratorio de Bioquímica Toxicológica del Posgrado de Alimentos, Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se le indicará que pase al área destinada para la toma de muestra. El estudiante de QFB y responsable de esta investigación, José Manuel Piña Rivera, está capacitado para la venopunción, colocará un torniquete alrededor del brazo, limpiará con antiséptico la zona interna del codo, pinchará una vena (cubital mediana y cefálica se prefieren para la venopunción, dependiendo de la firmeza e ingurgitación de estas) y extraerá 1 tubo de 2.7 ml de muestra sanguínea. Una vez colectada la sangre, se extraerá la aguja y el lugar de la punción se cubrirá para detener cualquier sangrado.

6. RIESGOS ASOCIADOS CON EL ESTUDIO

Los riesgos asociados a la punción venosa son leves. Sangrado, desmayo o mareo, hematoma o morete, marca de la punción, son los más comunes. Sin embargo, debido a la variación del tamaño de las venas, hace que la toma de muestra sanguínea sea más difícil en unas personas que en otras, por lo que cabe a posibilidad de que haya que realizar múltiples punciones para ubicar las venas. No obstante, si en el tiempo en que se está realizando el análisis, presenta malestar, será excluido de la evaluación y enviado a recibir asistencia médica por parte del personal médico de la clínica de salud integral SUSalud de la Facultad de Química (edificio 1) en Centro Universitario de la Universidad Autónoma de Querétaro, en donde se realizará un seguimiento y monitoreo de la salud del personal.

En caso de que usted desarrolle algún efecto adverso secundario o requiera otro tipo de atención, ésta se le brindará en los términos del apartado 6.

7. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECTIOSOS

Una vez terminado el ensayo, los residuos peligrosos biológico-infecciosos se tratarán según lo estipulado en la NOM-087-ECOL-SSA1-2002. Las agujas utilizadas se depositarán en un recipiente rígido de polipropileno específico para objetos punzocortantes identificado con el símbolo universal de riesgo biológico-infeccioso. Mientras que, los tubos y torundas con sangre se colocarán en bolsa roja de polipropileno con el símbolo universal de riesgo biológico-infeccioso. El material que haya tenido contacto con sangre se inactivará sumergiéndolo en una solución de cloro durante 10 minutos y se lavará con detergente para su posterior almacenamiento.

8. ACLARACIONES

- Su decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria.
- No habrá ninguna consecuencia para usted en caso de no aceptar la invitación.
- Si decide participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee.
- No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio.
- No recibirá pago por su participación.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo al investigador responsable.
- En caso de que usted desarrolle algún efecto adverso secundario no previsto, se le proporcionará el cuidado médico apropiado, siempre que estos efectos sean consecuencia de su participación en el estudio, previamente valorado por el médico.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador corresponsable, Dra. Rocio Campos Vega al teléfono: 442 343 2168.
- La información obtenida en este estudio, utilizada para la identificación de cada paciente, será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigadores.
- Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación, puede, si así lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado que forma parte de este documento.

9. INFORMACIÓN DE CONTACTO

Si tiene alguna pregunta acerca de su participación o desea la opinión de otra persona fuera del estudio, usted puede consultar al médico de su confianza.

En caso de que tenga cualquier pregunta acerca del proyecto o en caso de una emergencia, llame al número 419 120 2164, con el estudiante José Manuel Piña Rivera.

10. CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Acepto participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Firma del participante

Fecha de la firma

Testigo 1

Fecha

Testigo 2

Fecha

He explicado al Sr(a). _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apego a ella.

8.3. Reclutamiento

El proceso de reclutamiento se realizará a través de las redes sociales que se encuentran al alcance de los estudiantes; grupos de facebook de la Facultad de Química. Además de propaganda física con volantes colocados en zonas comunes de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

DONANTE DE SALIVA

¿Te gustaría participar en un ensayo de investigación?

Estamos buscando voluntario para donar saliva

Consiste en hacer enjuagues con agua pura. No implica ningún riesgo. Será necesario realizarlo en dos días diferentes.

Requisitos:

- No haber ingerido alimentos en un plazo de 90 minutos previos al ensayo.
- Encontrarse libre de caries dental.
- No haber cepillado los dientes con pasta dental o cualquier producto de higiene bucal, solamente con agua natural.
- Ser mayor de 18 años de edad.

Contáctanos:
Tel. Cel.: 419 120 21 64
Mail: jmpinarivera@gmail.com

DONANTE DE SANGRE

¿Te gustaría participar en un ensayo de investigación?

Estamos buscando voluntario para donar de sangre

No importa que tipo de sangre seas. Se requiere única muestra de 3 ml.

Requisitos:

- No haber consumido medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) en un lapso mínimo de 2 semanas antes del ensayo.
- Aspirina, ibuprofeno, ketoprofeno, celecoxib, diclofenaco y ketorolaco, son algunos ejemplos de dichos medicamentos.
- Ser mayor de 18 años de edad.



Contáctanos:
Tel. Cel.: 419 120 21 64
Mail: jmpinarivera@gmail.com