



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**

**“DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UN  
ADEREZO DE JITOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM*)  
ADICIONADO CON FIBRA ANTIOXIDANTE DE LA CÁSCARA DE  
AGUACATE (*PERSEA AMERICANA* MILL CV. ‘HASS’)”**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Presenta:**

I.B.N. Paola Leticia Burgos Martínez

**Dirigida por:**

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

**Co-Dirigida por:**

Dr. Iván Andrés Luzardo Ocampo

Centro Universitario Querétaro, Qro., México.

Noviembre de 2025

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**  
**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**

**“DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UN  
ADEREZO DE JITOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM*)  
ADICIONADO CON FIBRA ANTIOXIDANTE DE LA CÁSCARA DE  
AGUACATE (*PERSEA AMERICANA* MILL CV. ‘HASS’)”**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Presenta:**

I.B.N. Paola Leticia Burgos Martínez

**Dirigido por:**

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

**Co-Dirigida por:**

Dr. Iván Andrés Luzardo Ocampo

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Presidente

Dra. Iván Andrés Luzardo Ocampo  
Secretario

Dra. Marcela Gaytán Martínez  
Vocal

Dra. Sofía María Arvizu Medrano  
Suplente

Dra. Madeleine Perucini Avendaño  
Suplente

Centro Universitario Querétaro, Qro.  
Noviembre de 2025  
México

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ponerme en este camino y darme las herramientas y capacidades necesarias para atravesarlo. Por poner en mi camino a las personas correctas en el momento correcto.

A mis padres, Néstor Burgos Borja y Alma Leticia Martínez Ochoa, por su apoyo y amor incondicional. Por motivarme día a día, por confiar en mi y en mis sueños, por darme mucho más de lo que tuvieron, son mi inspiración. Los amo con todo mi ser, soy lo que soy gracias a ustedes.

A mis hermanos y compañeros de vida, Abraham, David y Alma. Por nunca dejar de ofrecermé su ayuda y apoyo, incluso a la distancia. Sus mensajes y llamadas me hacían reír incluso en los días más difíciles.

A Pau por ser la hermana mayor que nunca tuve, por tu preocupación. Tus consejos me sacaron adelante.

A Alba Emilia por tu inocencia y mostrarme el mundo desde tu perspectiva. Esto es por ti, para motivarte a ser lo que quieras ser en tu futuro.

A Bruno, que estuvo conmigo en diferentes etapas académicas y no alcanzó a verme terminar esta. Y a Maya, que me saca una sonrisa con cada foto y me recibe con tanto amor cada vez que estoy de visita.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico brindado durante la duración del proyecto.

A la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y a la Facultad de Química por permitirme tener un espacio para desarrollar mis habilidades y conocimientos.

A la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña por su total apoyo y guía (tanto profesional como personal) y sus incontables anécdotas a lo largo de la maestría.

A mi comité de tesis Dr. Iván Luzardo Ocampo, Dra. Marcela Gaytán Martínez, Dra. Sofía María Arvizu Medrano y Dra. Madeleine Perucini Avendaño por todo su conocimiento científico que llenó de valor este proyecto.

A mis compañeros y amigos de laboratorio Juan Carlos, Dafne, Made, Lorraine, Vane, Dámaris y Grecia por las risas, salidas recreativas y ayuda con los experimentos cuando no se veía salida.

A David por acompañarme al laboratorio en fines de semana y durante las noches que necesitaba trabajar; por todo tu amor y apoyo cuando más cansada y triste me sentía.

A Nicole, mi mejor amiga, por estar incondicionalmente y las sesiones en mi casa para estudiar y trabajar en nuestros proyectos.

A Toño y su mamá por invitarme a tu casa y alimentarme, por todas las risas, abrazos y lagrimas que compartimos. Fueron la calidez que todo estudiante foráneo necesita.

A mis amigos de la maestría Juan Carlos, Luis, Pau por todas las salidas y reuniones, risas y momentos de desahogo.

A mis amigos de Torreón Itzel, Ceci, Bárbara, Ana, Alessia, Ernesto, Manuel, Andrea y José Luis que han estado en cada paso de este proceso y no me han soltado a pesar de la distancia.

A todas aquellas personas que han hecho presencia en mi vida y a los que ya no están y me han enseñado tantas cosas.

Nada de esto sería posible sin todos ustedes.

## RESUMEN

México es el líder mundial en la producción y exportación de aguacate (*Persea americana Mill*) cv. 'Hass' (2.7 millones de toneladas producidas anualmente). Por otro lado, el jitomate (*Solanum lycopersicum*) también se produce y consume en grandes cantidades en México (hasta 3.6 millones de toneladas anuales). El procesamiento de ambos genera grandes cantidades de subproductos ricos en compuestos bioactivos, como la fibra dietaria, compuestos fenólicos y carotenoides como el licopeno. El aprovechamiento de estos compuestos para su adición en la formulación de alimentos significaría una reducción al impacto ambiental que el desecho inadecuado de los subproductos genera. Así, el objetivo de este trabajo fue desarrollar y caracterizar un aderezo de jitomate adicionado de fibra antioxidante de la cáscara de aguacate 'Hass'. Los aderezos formulados a base de pulpa de jitomate mostraron un notable incremento en su contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, sin afectar negativamente su aceptación sensorial al ser enriquecidos con fibra dietaria. El aderezo con 3.5 % de fibra (DZT) presentó los valores más altos de fenoles totales ( $86.91 \pm 0.48$  mg GAE/100 g), taninos condensados ( $383.91 \pm 0.09$  mg CE/100 g) y flavonoides ( $39.88 \pm 0.61$  mg QE/100 g), lo que se reflejó en una capacidad antioxidante significativamente superior en los métodos ABTS ( $348.71 \pm 0.07$   $\mu$ mol TE/100 g), DPPH ( $698.43 \pm 0.12$   $\mu$ mol TE/100 g) y FRAP ( $824.78 \pm 0.06$   $\mu$ mol TE/100 g), en comparación con las formulaciones con menor contenido de fibra. Además, este aderezo mostró la mayor concentración de licopeno ( $14.26 \pm 0.08$  mg/100 g), carotenoide clave en la actividad antioxidante del jitomate. A nivel sensorial, los panelistas otorgaron calificaciones promedio entre 7.2 y 8.5 puntos en la escala hedónica, destacando una alta aceptación global. La muestra QLP (0 % de fibra) fue la mejor evaluada en sabor y textura, mientras que DZT destacó por su cuerpo más denso y perfil funcional. En conjunto, los resultados confirman que el enriquecimiento con fibra dietaria y compuestos fenólicos provenientes de subproductos vegetales mejora significativamente la capacidad antioxidante y el valor funcional de los aderezos, manteniendo buenas propiedades sensoriales y aceptación por parte del consumidor.

**Palabras clave:** fibra antioxidante, cáscara de aguacate, jitomate, aderezo, caracterización química.

## ABSTRACT

Mexico is the world leader in the production and export of avocado (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass' (2.7 million tons produced annually). On the other hand, tomato (*Solanum lycopersicum*) is also produced and consumed in large quantities in Mexico (up to 3.6 million tons per year). The processing of both generates large amounts of by-products rich in bioactive compounds, such as dietary fiber, phenolic compounds, and carotenoids like lycopene. The use of these compounds for their addition in food formulation would reduce the environmental impact caused by the inadequate disposal of these by-products. Thus, the aim of this work was to develop and characterize a tomato-based dressing enriched with antioxidant fiber from 'Hass' avocado peel. The dressings formulated with tomato pulp showed a notable increase in their bioactive compound content and antioxidant capacity, without negatively affecting their sensory acceptance when enriched with dietary fiber. The dressing containing 3.5% fiber (DZT) presented the highest values of total phenols ( $86.91 \pm 0.48$  mg GAE/100 g), condensed tannins ( $383.91 \pm 0.09$  mg CE/100 g), and flavonoids ( $39.88 \pm 0.61$  mg QE/100 g), which resulted in a significantly higher antioxidant capacity in the ABTS ( $348.71 \pm 0.07$   $\mu$ mol TE/100 g), DPPH ( $698.43 \pm 0.12$   $\mu$ mol TE/100 g), and FRAP ( $824.78 \pm 0.06$   $\mu$ mol TE/100 g) assays, compared to the formulations with lower fiber content. In addition, this dressing showed the highest lycopene concentration ( $14.26 \pm 0.08$  mg/100 g), a key carotenoid in the antioxidant activity of tomato. At the sensory level, panelists gave average scores between 7.2 and 8.5 points on the hedonic scale, indicating high overall acceptance. The QLP sample (0% fiber) received the best ratings for flavor and texture, while DZT stood out for its denser body and functional profile. Overall, the results confirm that enrichment with dietary fiber and phenolic compounds from plant by-products significantly improves the antioxidant capacity and functional value of the dressings, while maintaining good sensory properties and consumer acceptance.

**Keywords:** antioxidant fiber, avocado peel, tomato, dip, chemical characterization.

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DE ESTUDIANTE

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras. Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.



---

Paola Leticia Burgos Martínez



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
<b>II.1. Subproductos agroindustriales.....</b>	<b>3</b>
II.1.1. Subproductos en México.....	4
<b>II.2. Economía circular .....</b>	<b>5</b>
<b>II.3. Aguacate (<i>Persea americana</i> Mill).....</b>	<b>7</b>
II.3.1. Generalidades del aguacate .....	7
II.3.2. Producción y consumo en México.....	8
II.3.3. Composición química .....	9
<b>II.4. Los subproductos de la industria de producción y procesamiento del aguacate .....</b>	<b>9</b>
II.4.1. Semilla y cáscara .....	10
<b>II.5. Compuestos fenólicos .....</b>	<b>11</b>
II.5.1. Compuestos fenólicos en la cáscara de aguacate.....	11
<b>II.6. Fibra dietaria .....</b>	<b>13</b>
II.6.1. Beneficios a la salud .....	13
II.6.2. Fibra dietaria en la cáscara de aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill.) cv. ....	14
<b>II.7. Usos potenciales de extractos de cáscara de aguacate.....</b>	<b>15</b>
<b>II.8. Jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) .....</b>	<b>16</b>
II.8.1. Generalidades del jitomate.....	16
II.8.2. Producción y consumo en México.....	17
II.8.3. Composición química .....	17
II.8.4 Compuestos bioactivos del jitomate.....	18

II.8.4.1 Fibra dietaria .....	18
II.8.4.2 Compuestos fenólicos .....	19
II.8.4.3 Carotenoides .....	20
II.8.4.3.1. Licopeno .....	20
II.8.4.3.2. $\beta$ -caroteno .....	21
II.8.4.3.3. Luteína.....	21
<b>II.9. Salsas, aderezos y dips.....</b>	<b>22</b>
II.9.1. Ingredientes utilizados en su elaboración .....	23
<b>II. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>III. OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
<b>IV.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>25</b>
<b>IV.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>25</b>
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
<b>V.1. Materiales .....</b>	<b>25</b>
V.1.1. Materia prima .....	25
V.1.2. Reactivos .....	26
<b>V.2. Extracción de la fibra de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) cv. ‘Hass’ por ultrasonido.....</b>	<b>26</b>
<b>V.3. Desarrollo del aderezo de jitomate adicionado con fibra de cáscara de aguacate cv. ‘Hass’ .....</b>	<b>27</b>
<b>V.4. Caracterización química .....</b>	<b>27</b>
V.4.1. Determinación de humedad.....	28
V.4.2. Determinación de proteínas.....	28
V.4.3. Determinación de lípidos .....	29
V.4.4. Determinación de cenizas.....	30
V.4.5. Determinación de carbohidratos .....	30
V.4.6. Determinación de fibra dietaria total .....	30

V.4.6.1. Determinación de fibra dietaria insoluble .....	30
V.4.6.2. Determinación de fibra dietaria soluble .....	31
V.4.7. Determinación de licopeno .....	32
<b>V.5. Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos.....</b>	<b>32</b>
V.5.1. Fenoles totales.....	32
V.5.2. Flavonoides.....	33
V.5.3. Taninos condensados.....	33
V.5.4. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos por cromatografía de líquidos de alta resolución acoplado a detector con arreglo de diodos (HPLC- DAD).....	34
<b>V.6. Determinación de la capacidad antioxidante.....</b>	<b>35</b>
V.6.1. Método DPPH .....	35
V.6.2. Método del ABTS.....	35
V.6.3. Método de FRAP .....	36
<b>V.7. Caracterización fisicoquímica.....</b>	<b>36</b>
V.7.1. Evaluación de color.....	36
V.7.2. Medición de pH .....	36
V.7.4. Análisis de consistencia.....	36
V.7.5. Análisis de viscosidad.....	37
<b>V.8. Análisis sensorial .....</b>	<b>37</b>
V.8.1. Análisis microbiológico.....	37
V.8.2. Evaluación sensorial de preferencia y aceptabilidad .....	37
<b>V.9. Análisis <i>in silico</i> de compuestos digeridos ensayados contra objetivos moleculares de capacidad antioxidante .....</b>	<b>39</b>
<b>V.10. Análisis estadístico .....</b>	<b>39</b>
<b>V. Resultados y discusión .....</b>	<b>40</b>
<b>VI.1. Caracterización de la materia prima .....</b>	<b>40</b>
VI.1.1. Composición química de jitomate y cáscara de aguacate.....	40

VI.1.2. Composición nutracéutica de jitomate y cáscara de aguacate.....	41
VI.1.2.1. Fibra total, insoluble y soluble .....	41
VI.1.2.2. Contenido de licopeno .....	42
VI.1.2.3. Contenido de compuestos fenólicos libres.....	43
VI.1.2.4. Capacidad antioxidante.....	45
<b>VI.2. Caracterización de las formulaciones de aderezos .....</b>	<b>46</b>
VI.2.1. Composición química de las formulaciones de aderezos.....	46
VI.2.2. Composición nutracéutica de las formulaciones de aderezos.....	48
VI.2.2.1. Fibra total, insoluble y soluble .....	48
VI.2.2.2. Contenido de licopeno .....	49
VI.2.2.3. Contenido de compuestos fenólicos libres.....	49
VI.2.2.4. Capacidad antioxidante.....	50
VI.2.2.5. Compuestos fenólicos detectados por HPLC-DAD .....	51
VI.2.3. Caracterización fisicoquímica de las formulaciones de aderezos .....	53
VI.2.3.1. pH de las formulaciones de aderezos .....	53
VI.2.3.2. Color de las formulaciones de aderezos .....	54
VI.2.3.3. Consistencia de las formulaciones de aderezos .....	56
VI.2.3.4. Viscosidad de las formulaciones de aderezos .....	58
<b>VI.3. Evaluación sensorial de los aderezos.....</b>	<b>60</b>
<b>VI.4. Análisis <i>in silico</i> de la fibra y compuestos fenólicos .....</b>	<b>63</b>
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>67</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Principales subproductos agroindustriales .....	4
<b>Cuadro 2.</b> Contenido de ácidos grasos de extractos de cáscara de aguacate .....	11
<b>Cuadro 3.</b> Composición química del jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y cáscara de aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill) cv. 'Hass' .....	41
<b>Cuadro 4.</b> Fibra total dietaria (soluble e insoluble) del jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y cáscara de aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill) cv. 'Hass' .....	42
<b>Cuadro 5.</b> Contenido de licopeno del jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) .....	43
<b>Cuadro 6.</b> Concentración de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados libres del jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y cáscara de aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill) cv. 'Hass' .....	45
<b>Cuadro 7.</b> Capacidad antioxidante contra radical ABTS, DPPH y FRAP del jitomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y cáscara de aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill) cv. 'Hass' .....	46
<b>Cuadro 8.</b> Composición química de las formulaciones de los aderezos .....	47
<b>Cuadro 9.</b> Fibra total dietaria (soluble e insoluble) de las formulaciones de los aderezos .....	48
<b>Cuadro 10.</b> Contenido de licopeno en las formulaciones de los aderezos .....	49
<b>Cuadro 11.</b> Concentración de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados libres de los aderezos .....	50
<b>Cuadro 12.</b> Capacidad antioxidante contra radical ABTS, DPPH y FRAP de los aderezos .....	51
<b>Cuadro 13.</b> Compuestos fenólicos detectados por HPLC-DAD en los aderezos ..	53
<b>Cuadro 14.</b> Medición de pH de los aderezos .....	54
<b>Cuadro 15.</b> Medición de color de los aderezos .....	55
<b>Cuadro 16.</b> Consistencia de los aderezos .....	57
<b>Cuadro 17.</b> Viscosidad de los aderezos .....	59
<b>Cuadro 18.</b> Resultados microbiológicos de las muestras de aderezos .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Etapas del modelo de economía circular en la industria de alimentos ....	6
<b>Figura 2.</b> Sistema de color CIELAB .....	56
<b>Figura 3.</b> Curvas de textura .....	58
<b>Figura 4.</b> Curvas de viscosidad .....	60
<b>Figura 5.</b> Análisis de agrado de los aderezos de jitomate adicionados con fibra de cáscara de aguacate .....	62
<b>Figura 6.</b> Imágenes representativas in silico de las mejores afinidades de unión entre compuestos fenólicos seleccionados de los aderezos contra enzimas clave involucradas en procesos de estrés oxidativo e inflamación. ....	64
<b>Figura 7.</b> Imágenes representativas in silico de las mejores afinidades de unión entre compuestos fenólicos seleccionados de los aderezos contra enzimas clave involucradas en procesos de estrés oxidativo e inflamación. ....	65
<b>Figura 8.</b> Imágenes representativas in silico de las mejores afinidades de unión entre compuestos fenólicos seleccionados de los aderezos contra enzimas clave involucradas en procesos de estrés oxidativo e inflamación. ....	66

## I. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass'), es el fruto proveniente de un árbol con el mismo nombre y originario del continente americano, principalmente en México y Centroamérica. La variedad 'Hass' es una de las más cultivadas el mundo y sus frutos contienen una pulpa cremosa y de gran sabor, además de que se encuentran cubiertos por una corteza gruesa de color verde oscuro-negro. Es un fruto rico en lípidos (10 % al 30 %) y la mayoría de los carbohidratos presentes en él son fibra dietaria (80 %) de la cual el 70 % es insoluble y 30 % soluble. Presenta también un alto contenido de proteína y vitaminas, aminoácidos esenciales, minerales, glutatión, compuestos fenólicos de distintas clases y más compuestos antioxidantes. Gracias a su composición, el aguacate tiene propiedades benéficas para el metabolismo del ser humano como la actividad antioxidante, antiinflamatoria, anticancerígena, cardioprotectora y antimicrobiana.

México es el líder mundial en su producción y exportación. En el año 2023 la producción nacional alcanzó las 2.97 millones de toneladas y en el año 2024 las 2.65 millones de toneladas. Su procesamiento industrial genera grandes cantidades de subproductos que representan alrededor del 30 % del peso fresco del aguacate. La cáscara y semilla o hueso son los principales subproductos, que representan aproximadamente un 7-15 % y 20-21 % respectivamente del peso fresco del fruto. Debido a su composición de proteínas, azúcares, almidón y grasa, además de ser ricos en compuestos bioactivos, cuando se descartan se convierten en una fuente de contaminación para el medio ambiente.

Por otro lado, el jitomate (*Solanum lycopersicum*) es originario de América Central y del Sur. Sin embargo, su domesticación y cultivo se le debe a México. Es una planta perenne, pero se cultiva como planta anual. Está compuesto de piel, semillas y pulpa, es rico en una variedad de nutrientes esenciales como vitaminas, minerales, fibra, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos monoinsaturados, carotenoides y fitoesteroides.

La producción de jitomate en el 2023 fue de 3.63 millones de toneladas; mientras que, en 2024 la producción fue de 3.60 millones de toneladas. Mundialmente, el 10 % de la producción total de jitomate no cumple con los requisitos de los clientes por lo que se eliminan aquellos frutos descoloridos, verdes y dañados lo que genera también pérdidas esenciales durante la cosecha. Al igual que otros subproductos agroalimentarios, los del jitomate contienen una considerable cantidad de compuestos bioactivos con potencial nutracéutico. Cabe destacar que el jitomate es reconocido por su alto contenido en licopeno, un carotenoide relacionado con la prevención de cáncer de próstata.

Debido a esta generación de desperdicios, se han realizado investigaciones buscando convertirlos en agentes, ingredientes y/o productos nutracéuticos en la formulación de otros productos. Las fibras dietarias son compuestos presentes en los subproductos de aguacate y jitomate que tienen la capacidad de influir positivamente en la composición del microbiota intestinal y convertirse en productos beneficiosos a la salud. Su capacidad de retener agua y expandirse en el tracto gastrointestinal es lo que les permite aliviar el estreñimiento y favorecer la digestión.

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue desarrollar y caracterizar la composición química, nutracéutica y fisicoquímica de un aderezo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado de fibra antioxidante de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass').



## **I. ANTECEDENTES**

### **II.1. Subproductos agroindustriales**

Los subproductos agroindustriales son aquellos residuos provenientes de la producción y el procesamiento de alimentos que abarcan las etapas de pre y postcosecha, almacenamiento, transporte, comercialización y consumo (Preciado-Saldaña *et al.*, 2022; Lemes *et al.*, 2022). Estos provienen en su mayoría de alimentos de origen vegetal y se componen principalmente de: cáscaras, semillas, bagazo, tallos y granos (Gómez-García *et al.*, 2021). Estos subproductos son ricos en carbohidratos como la fibra dietaria insoluble (celulosa, hemicelulosa, lignina) y soluble (oligosacáridos y almidones resistentes) (Angulo-López *et al.*, 2023), así como en algunos otros compuestos bioactivos: fenoles, péptidos, fitoesteroles, saponinas, carotenoides, antocianinas y ácidos grasos (Del Rio Osorio *et al.*, 2021).

A finales del año 2024 se reportó que el 19 % de la producción mundial total de alimentos se desperdicia en los hogares (59 %), los servicios de alimentación (27 %) y el comercio minorista (1.82 %), lo que equivale a 132 kg de desperdicio de alimentos per cápita al año (Saini *et al.*, 2025). En Estados Unidos de Norteamérica, esto representa el 40 % de toda su cadena de producción, mientras que en América Latina se estima en el 15 %, y, a nivel global, en el 6 % del total de pérdidas y desperdicios alimentarios (PDA). Respecto a África, Asia central y occidental sus PDA representan el 32 % del total global; en cuanto a Europa, como continente, contribuye con aproximadamente 20 % de PDA total (Del Rio Osorio *et al.*, 2021).

Estas PDA también vienen de aquellas frutas y verduras que no cumplen con los estándares de calidad para su comercialización. Por ejemplo, aproximadamente del 10 % de la producción total de jitomate no cumple con los requisitos de los clientes; siendo eliminados aquellos frutos que son descoloridos, verdes y dañados lo que genera pérdidas esenciales durante la cosecha y un procesamiento mínimo (Coelho *et al.*, 2023).

Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) reporta que estas PDA equivalen a

aproximadamente 1,300 millones de toneladas de subproductos alimentarios que no se aprovechan y son desechados, y que tienen un valor económico que va desde los 680 mil millones a los 990 mil millones de dólares al año (Gómez-García *et al.*, 2021; Lemes *et al.*, 2022). En el Cuadro 1 se presentan los principales subproductos agroindustriales (Georganas *et al.*, 2023; Rațu *et al.*, 2023).

**Cuadro 1.** Principales subproductos agroindustriales

<b>Materia prima</b>	<b>Subproducto</b>
<b>Manzana</b>	Semillas, cáscara y pulpa
<b>Naranja</b>	Cáscara
<b>Uva</b>	Semillas y orujo (cáscara, tallos y pulpa)
<b>Plátano</b>	Cáscara
<b>Mango</b>	Cáscara y semilla
<b>Jitomate</b>	Orujo (semillas y cáscara)
<b>Cebolla</b>	Cáscara
<b>Remolacha</b>	Semillas y cáscara
<b>Papa</b>	Cáscara
<b>Oliva</b>	Semillas, hojas y pulpa

(Georganas *et al.*, 2023; Rațu *et al.*, 2023).

### **II.1.1. Subproductos en México**

En México, el porcentaje de alimentos producidos que se pierden o desperdician en el país es más del 40 % lo cual representan aproximadamente 20 millones de toneladas (Preciado-Saldaña *et al.*, 2022). Esto hace que el país se sitúe en el décimo lugar a nivel mundial en la producción de alimentos y se caracteriza por generar una gran cantidad de residuos como aquellos de la industria aguacatera la cual genera alrededor de 460,000 toneladas de semillas de aguacate como subproducto (Zitácuaro *et al.*, 2025).

Esta generación de PDA, al ser ricos en macromoléculas y compuestos bioactivos, trae como consecuencia problemas ambientales y de salud al no

disponerse adecuadamente. Los residuos suelen quemarse, incinerarse o desecharse en vertederos lo que ocasiona infestaciones y desarrollo de microorganismos (patógenos y deterioradores), humo, gases tóxicos ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), carcinógenos (hidrocarburos aromáticos policíclicos, furanos y dioxinas) y de efecto invernadero lo cual afecta al sector social, económico y ambiental (Gaur *et al.*, 2020; Zitácuaro *et al.*, 2025).

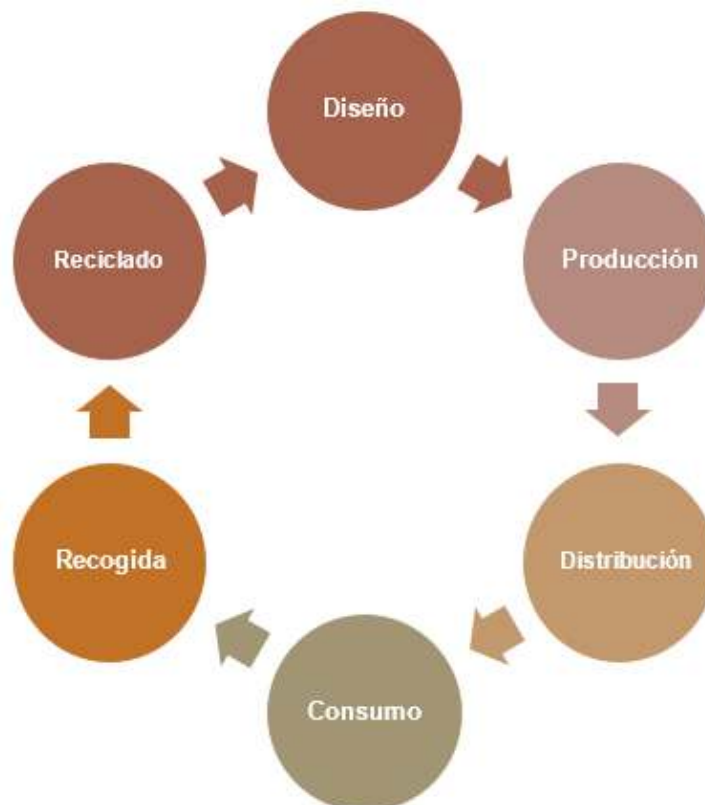
Vázquez-Mata *et al.* (2022), en su estudio sobre alternativas para el aprovechamiento de los compuestos bioactivos de residuos producidos en la central de abasto de la Ciudad de México, reportaron un 45.7 % de PDA equivalente a 32725 toneladas producidas por los puestos dedicados a la comercialización de frutas y verduras. Cabe mencionar que entre los subproductos agroindustriales más comunes en México se encuentran la cáscara y semilla de mango y aguacate, el orujo de uva, piña y manzana, la cáscara de papa, de café y granos quebrados de frijoles y otras leguminosas (Preciado-Saldaña *et al.*, 2022).

## **II.2. Economía circular**

En el sistema de economía lineal que predomina en el mundo, los residuos industriales son procesados o desechados en el medio ambiente convirtiéndose en una fuente de contaminación que trae consigo cambios físicos y morfológicos en los seres vivos que entran en contacto con tales residuos (Gaur *et al.*, 2020). Con el fin de buscar soluciones sostenibles para los sistemas de producción y consumo actuales, la economía circular ha destacado como un modelo cíclico de producción y consumo en el que se busca reducir, reutilizar, reciclar y recuperar recursos a partir de los residuos industriales (Da Rosa *et al.*, 2023). El enfoque del modelo abarca los principios de las “7R”: Rediseñar, Renovar, Reducir, Reutilizar, Reparar, Recuperar y Reciclar (Araujo-Morera *et al.*, 2021).

En la Figura 1 se describen las etapas del modelo de economía circular (Matiacevich *et al.*, 2023). Su implementación para el aprovechamiento de los subproductos agroindustriales implica cambios en las distintas áreas sociales, económicas y ambientales, así como el reinvento de la industria agroalimentaria

(Preciado-Saldaña *et al.*, 2022). No solo significa una reducción en los porcentajes de PDA generados, sino también un aumento de la disponibilidad de alimentos y precios más accesibles (Del Rio Osorio *et al.*, 2021).



**Figura 1.** Etapas del modelo de economía circular en la industria de alimentos

(Matiacevich *et al.*, 2023)

Científicos y empresarios alrededor del mundo han intentado desarrollar procesos para convertir los subproductos de la agroindustria en productos de valor agregado (Almaraz-Sánchez *et al.*, 2022). Por ejemplo, aunque en países desarrollados la transición a una economía circular ha tenido más relevancia, se ha implementado en países latinoamericanos como México (Preciado-Saldaña *et al.*, 2022). Se pueden extraer moléculas de interés, como vitaminas y enzimas, así como compuestos bioactivos como los fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides),

alcaloides, carotenoides, saponinas, terpenoides y glucósidos, para su uso como ingredientes funcionales en la elaboración de otros productos (Campos *et al.*, 2020).

Alissa *et al.* (2020) utilizaron secado por aspersión para convertir el extracto de semilla de aguacate en un polvo con potencial para incorporar en sopas instantáneas y bebidas. Zepeda-Ruiz *et al.* (2020) adicionaron cáscara de mango en la formulación de totopos de maíz lo que incrementó los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la botana. También, Velderrain-Rodríguez *et al.* (2021) estudiaron el valor nutricional, actividad antioxidante y anti proliferativa y el perfil de compuestos fenólicos totales de la cáscara y semilla de aguacate para su posible uso como agente nutracéutico y medicinal en enfermedades asociadas con el estrés oxidativo. Jose *et al.* (2022) elaboraron galletas con harina de orujo de piña y harina de trigo refinada aumentando el contenido de fibra dietaria y disminuyendo el contenido de gluten y grasa.

### **II.3. Aguacate (*Persea americana* Mill)**

#### **II.3.1. Generalidades del aguacate**

El aguacate, es el fruto proveniente de un árbol que lleva el mismo nombre y se originó en el continente americano, principalmente en México y Centroamérica hasta llegar a Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú (Alfonso Bartoli, 2008). Actualmente es una de las frutas más populares gracias a su sabor, versatilidad y alto valor nutritivo (Rodríguez & Parra, 2021). Perteneció al género *Persea* que está conformado por más de 150 especies y, de acuerdo con sus características morfológicas, se ha dividido en los subgéneros *Persea* y *Eriodaphne* (Bernal *et al.*, 2020).

Existen más de 500 tipos de aguacate alrededor del mundo y se desarrollan en diversos climas (Rodríguez & Parra, 2021). Bernal *et al.* (2020) señalan tres principales zonas climáticas en las que se cultiva el aguacate:

**Climas frescos, semi áridos, con lluvias predominantes durante el invierno:** California, Chile e Israel.

**Climas subtropicales húmedos, con lluvias predominantes durante el verano:** México, Sudáfrica y Australia.

**Climas tropicales y subtropicales, con veranos lluviosos:** Brasil, Florida e Indonesia.

El aguacate 'Hass' (*Persea americana* cv. 'Hass') es la variedad que más se consume y una de las más cultivadas el mundo y surgió de una mutación espontánea que fue seleccionada por Rudolph G. 'Hass' en California (Instituto Colombiano Agropecuario, 2012; Menéndez Gámez *et al.*, 2025). Su genética es predominantemente guatemalteca (85-90 %), sin embargo, cuenta con algunos genes de la raza mexicana (10-15 %) (Bernal *et al.*, 2020).

La variedad 'Hass' produce frutos con una pulpa cremosa y de gran sabor, cubiertos por una corteza gruesa de color verde oscuro-negro (Dreher & Davenport, 2013).

### **II.3.2. Producción y consumo en México**

México es el líder en producción y exportación de aguacate alrededor del mundo; en 2020, la producción nacional alcanzó cerca de 2.4 millones de toneladas (Cruz-López *et al.*, 2022). Para finales del año 2023, se produjeron 2.97 millones de toneladas (FIRA, 2024), mientras que, en 2024 se estimó una producción aproximada de 2.65 millones de toneladas con 654,000 toneladas exportadas (SADER, 2024a).

El aguacate se consume de diversas maneras tales como: producto en fresco, aceite, en guacamole, en ensaladas, en mayonesas, salpimentado o como ingrediente en la preparación de otros alimentos así como en la industria farmacéutica y de cosméticos (FIRA, 2024).

Estados Unidos es el principal importador de aguacate mexicano representando de un 60 hasta un 85 % de las exportaciones totales de México. Desde julio de 2019 hasta junio de 2020, México exportó a Estados Unidos cerca de 964,000 toneladas de aguacate con un costo estimado de más de 2,400 millones de dólares (Cruz-López *et al.*, 2022).

### **II.3.3. Composición química**

El aguacate contiene una diversidad de compuestos bioactivos como compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, taninos condensados, flavonoides), fibra dietaria y ácidos grasos insaturados (Zaldivar-Ortega *et al.*, 2023), siendo el oleico y el palmítico los más abundantes en todos los niveles de madurez comercial y fisiológica del aguacate (Yahia *et al.*, 2025). Los ácidos grasos monoinsaturados del aguacate ayudan en la reducción de los niveles de lipoproteínas de baja intensidad presentes en la sangre teniendo como consecuencia ayuda en la prevención de enfermedades coronarias (Vinha *et al.*, 2020).

En cuanto a carbohidratos, el aguacate es bajo en azúcar (Vinha *et al.*, 2020). Se caracteriza por contener mayormente azúcares de siete carbonos, los cuales aumentan durante las etapas iniciales de crecimiento y desarrollo del fruto (Ford *et al.*, 2023). Además, el aguacate presenta un alto contenido de proteína y vitaminas como la A, B, C y E (Vinha *et al.*, 2020).

### **II.4. Los subproductos de la industria de producción y procesamiento del aguacate**

En la actualidad, gracias a los avances tecnológicos y necesidades de la población, se han desarrollado diversos productos derivados de la pulpa del aguacate como el guacamole, aderezos, aceites, helados, pastas, botanas, mermeladas y dulces (García-Vargas *et al.*, 2021; FIRA, 2024). Inclusive, forma parte de formulaciones cosméticas (tratamientos para piel seca, protección contra la radiación UV, agentes antienvjecimiento, etc.), y medicinales (hipotensores, hipoglucemiantes, antivirales y anti diarreicos) (Vinha *et al.*, 2020).

Derivado de su producción, procesamiento y consumo, los principales subproductos del aguacate son la cáscara y semilla o hueso que representan alrededor del 30% del peso fresco del aguacate, estos llegan a alcanzar alrededor de 460,000 toneladas anuales que son descartadas convirtiéndose en una fuente de contaminación al ambiente (Akan, 2021; Menéndez Gámez *et al.*, 2025).

La búsqueda actual de los consumidores por alimentos más naturales y funcionales, hace necesaria la búsqueda de alternativas de ingredientes y alimentos como los residuos subproductos del aguacate que son fuentes importantes de compuestos fitoquímicos con actividad antimicrobiana, antioxidante anticancerígena y antiinflamatoria (Jimenez *et al.*, 2021); adicionalmente, el desafío climático al que se enfrenta la industria requiere un cambio en el modelo de producción y la implementación de una economía circular para el aprovechamiento de subproductos para otorgarles un valor agregado al convertirlos en ingredientes funcionales y reducir su impacto ambiental (Vinha *et al.*, 2020; Figueroa *et al.*, 2021).

#### **II.4.1. Semilla y cáscara**

La semilla y cáscara de aguacate están compuestas de proteínas, azúcares, almidón, grasa y agua; son ricas en compuestos bioactivos como compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides), saponinas, taninos, oxalatos, fitatos, alcaloides y carotenoides, vitamina C y vitamina E (Akan, 2021; Setyawan *et al.*, 2021). Debido a la alta concentración de estos compuestos, presentan actividad antiinflamatoria, antimicrobiana y antioxidante (Vinha *et al.*, 2020).

La semilla contiene flavonoides (20.33 mg/100 g) además de alcaloides (5.40 mg/100 g) y oxalatos (4.40 mg/100 g). Por otro lado, presenta un menor contenido en cuanto a fitatos (0.44 mg/100 g), saponinas (0.52 mg/100 g) y taninos (0.76 mg/100 g) (Setyawan *et al.*, 2021). da Silva *et al.* (2022) realizaron una extracción mediante etanol y hexano de la cáscara de aguacate y reportaron como el mineral con mayor cantidad al Ca (26.78 mg/100 g) seguido por Mg (23.87 mg/100 g) y el Cu en menor proporción (0.20 mg/100 g).

Salgado (2024) reportó a los carbohidratos como principal componente de la cáscara de aguacate maduro, compuestos mayoritariamente por fibra dietaria (66.89 %). Los ácidos grasos saturados presentes en la cáscara representan del 50.20 % a 71.80 %, mientras que el total de ácidos grasos insaturados del 5.4 % y 26.4 % dependiendo del solvente utilizado para la obtención del extracto. En el



Cuadro 2 se pueden observar más detalladamente los ácidos grasos presentes en el ensayo (da Silva *et al.*, 2022).

**Cuadro 2.** Contenido de ácidos grasos de extractos de cáscara de aguacate

Ácidos grasos	Cáscara	
	Hexano	Etanol
<b>Mirístico</b>	0.70 %	1.70 %
<b>Palmítico</b>	42.50 %	47.90 %
<b>Palmitoleico</b>	2.70 %	1.80 %
<b>Esteárico</b>	7.00 %	22.20 %
<b>Oleico</b>	18.20 %	2.50 %
<b>Linoleico</b>	4.50 %	0.70 %
<b>Linolénico</b>	1.00 %	0.40 %

(da Silva *et al.*, 2022)

## II.5. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son las principales sustancias formadas por el metabolismo secundario de las plantas. Se pueden encontrar en una gran diversidad de matrices, como frutas y verduras, y se dividen en: ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y lignanos (Albuquerque *et al.*, 2021). Su estructura consta de un anillo aromático acoplado a uno o más grupos hidroxilo y se conocen más de 8000 estructuras (Alara *et al.*, 2021). Los compuestos fenólicos más importantes encontrados en la dieta humana son los ácidos fenólicos, los flavonoides y los taninos (Alara *et al.*, 2021).

### II.5.1. Compuestos fenólicos en la cáscara de aguacate

Sánchez-Quezada *et al.* (2021) reportó que la maduración del fruto del aguacate influye en el contenido de compuestos fenólicos presentes y como consecuencia en la capacidad antioxidante de la semilla. Además, su humedad y dureza disminuye conforme la maduración aumenta, por lo que el procesamiento de la semilla se vuelve más sencillo.

A pesar de que gran parte del estudio de compuestos fenólicos se ha concentrado en la pulpa y semilla del aguacate, existen reportes que muestran que la cáscara de aguacate es también una fuente rica de estos compuestos, llegando a presentar incluso un mayor contenido de compuestos fenólicos totales (principalmente de procianidinas tipo B y epicatequina) y capacidad antioxidante en comparación con la semilla (Vinha *et al.*, 2020).

Tremocoldi *et al.* (2018) reportaron un contenido de compuestos fenólicos totales de 63.5 mg/g, donde se identificó procianidina  $B_2$  (43.38  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ) y epicatequina (30.40  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ). Velderrain-Rodríguez *et al.* (2021) encontraron un contenido total de fenoles de 309.95 mmol equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g, un total de flavonoides de 12.54 mmol EAG/100 g y de antocianinas de 622.37 mMol GA/100 g. Por otro lado, da Silva *et al.* (2022) obtuvieron un contenido fenólico total de 26.33 mg GA/g en la extracción con hexano y 35.40 mg GA/g en la extracción con etanol.

Figuerola *et al.* (2021) optimizaron las condiciones de extracción de compuestos fenólicos totales de la cáscara del aguacate como extracción asistida por microondas que, bajo las condiciones de 130 °C de temperatura, a un tiempo de extracción de 39 min, con una concentración de etanol del 36 % y una relación disolvente-muestra de 44 mL/g, se observó un contenido de estos compuestos de alrededor de ocho veces mayor con respecto a la extracción sólido-líquido convencional utilizando diferentes combinaciones de solventes.

Salgado (2024) reportó en la cáscara de aguacate maduro un contenido de compuestos fenólicos totales de 87.28 mg EAG/g, de flavonoides de 15.85 mg de equivalentes de rutina (ER)/g y de taninos condensados de 149.25 mg de equivalentes de (+)-catequina (EC)/g. Además, de una capacidad antioxidante de 876.74, 327.75 y 548.53 mg/g de equivalentes de trolox (ET), cuantificada a través de la inhibición de radicales de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), del ácido 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS); y medido a través del poder antioxidante reductor férrico (FRAP), respectivamente.

## **II.6. Fibra dietaria**

La fibra dietaria es la parte comestible de las plantas o todos aquellos carbohidratos resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación parcial o completa en el intestino grueso (López, 2021). Entre las sustancias que la constituyen se encuentran los polisacáridos no amiláceos, celulosa, pectinas, hidrocoloides, fructooligosacáridos y almidón resistente (Barber *et al.*, 2020). Se clasifica en dos grupos de acuerdo a su solubilidad en agua: fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI) (Dong *et al.*, 2020).

Las FDS son aquellas que se disuelven en agua y comúnmente forman geles. Por lo general, son fermentadas por la microbiota del intestino grueso por la microbiota asociada y se fermentan para producir ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como: ácido acético, propiónico y butírico (Slavin *et al.*, 2009), entre otros compuestos. Dentro de las FDS se encuentran los oligosacáridos y algunos polisacáridos no digeribles como la inulina, goma arábiga, pectinas, galactomanano y  $\beta$ -glucanos (He *et al.*, 2022).

Por otro lado, la FDI (celulosa, lignina) no se disuelven en agua, son menos fermentables por la microbiota del colon y no son digeridas, por lo que pasan a través de los intestinos casi intactas. Poseen propiedades de atracción pasiva de agua, lo que ayuda a normalizar la función del intestino grueso actuando como una esponja arrastrando agua hacia las heces y facilitando su evacuación (Slavin *et al.*, 2009). En ella predominan la celulosa, hemicelulosa, lignina y almidón resistente (López, 2021).

### **II.6.1. Beneficios a la salud**

Las fibras dietarias, en particular las solubles, tiene la capacidad de influir favorablemente en la composición del microbiota intestinal y convertirse en productos beneficiosos, principalmente AGCC, como el ácido acético, que disminuye el pH del intestino grueso e influye positivamente en la proliferación de bacterias ácido lácticas del colon (Agudelo-Ochoa *et al.*, 2016). Bonilla-De la O *et al.* (2023) encontraron que, al agregar ácido acético en el agua de beber de pollos

de engorde, hubo mejorías en el microbiota intestinal de estos y se favoreció el crecimiento de bacterias ácido lácticas.

El ácido butírico es el AGCC más estudiado y se ha vinculado a la supresión de inflamación del colon y el desarrollo de tumores, además de inhibir la proliferación de colonocitos cancerosos (Scott *et al.*, 2022). También se le ha correlacionado a la fibra dietaria con la reducción del riesgo de enfermedades gastrointestinales como el síndrome del intestino irritable, enfermedad inflamatoria intestinal, enfermedad diverticular, estreñimiento funcional, incontinencia fecal y cáncer colorrectal (Guan *et al.*, 2021).

La capacidad de retener agua y expandirse en el tracto gastrointestinal es lo que permite a las fibras dietarias aliviar el estreñimiento y favorecer la digestión, además de proteger a la barrera intestinal. Ayudan en la reducción de la toxicidad de los metales pesados, la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares y femeninas y en la mejora de los síntomas alérgicos como la rinitis (Barber *et al.*, 2020; He *et al.*, 2022).

#### **II.6.2. Fibra dietaria en la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv.**

Salmerón-Ruiz (2014), al caracterizar la fracción indigestible de la cáscara de aguacate, encontró que el 89.3 % de esta es de naturaleza insoluble constituida en un 23.19 % de lignina, mientras que únicamente el 7.46 % es de naturaleza soluble. En el estudio de Dávila *et al.* (2017), se reflejó un contenido de lignina del  $4.37 \pm 0.13$  % y de holocelulosa del 52.88 %, del cual el 18.7- 28 % era celulosa y  $25.30 \pm 1.24$  % fue hemicelulosa. Las diferencias en los datos se le atribuyeron al estado de madurez del fruto. Por otro lado, Araujo *et al.* (2021) reportaron que a partir de una extracción asistida por microondas de fibra en este subproducto un  $67.80 \pm 0.42$  % de insoluble y  $21.01 \pm 0.57$  % de fibra soluble. Del Castillo-Llamosas *et al.* (2021) encontraron que el principal componente de la cáscara es la lignina con 41.91 %, además de contener glucanos en un 19.43 % y hemicelulosa en un 26.51 %. Su reporte de lignina fue similar al de García-Vargas *et al.* (2021), quienes

hallaron un 35 % de este componente. También, Angulo-López *et al.* (2023) reportaron un contenido de fibra dietaria total de 1.29-54.63 g/100 g en la cáscara.

Sobre los métodos de extracción de la fibra dietaria a partir de cáscara de aguacate, Salgado-León *et al.* (2025) compararon una extracción alcalina contra una extracción asistida por ultrasonido. En el estudio, la fibra extraída por medio de ultrasonido demostró mantener y conservar el contenido de compuestos bioactivos, llegando a presentar concentraciones de fenoles totales de 58.68 mg EAG/g y valores de capacidad antioxidante (FRAP) de hasta 548.24  $\mu\text{mol ET/g}$ , superando hasta en 47 % los obtenidos por el método alcalino. De igual forma, en el estudio se reportó un contenido de fibra dietaria de 66.89 % siendo el 62.86 % fibra insoluble.

## **II.7. Usos potenciales de extractos de cáscara de aguacate**

Al tener capacidad antioxidante, antimicrobiana y antiinflamatoria, la cáscara de aguacate puede utilizarse como conservador y aditivo en los alimentos, como suplemento o alimento funcional, para obtener extractos ricos en compuestos fenólicos e inclusive en la industria cosmética (Aprilianto *et al.*, 2019; Kamaraj *et al.*, 2019; Akan, 2021).

Trujillo-Mayol *et al.* (2021) reportaron el impacto de la adición de extracto de la cáscara en hamburguesas de carne y de soya para ver su influencia sobre la oxidación y formación de compuestos nocivos resultado de la cocción de las hamburguesas. La adición del extracto afectó el color de las muestras más no el sabor, mientras que extractos en concentraciones del 0.5 % inhibieron la formación de acrilamida y aminas aromáticas heterocíclicas. Al respecto, los autores sugieren que el extracto de cáscara de aguacate puede sustituir antioxidantes sintéticos y proteger productos cárnicos y de soya de la formación de compuestos indeseables derivados de la cocción.

Ferreira *et al.* (2022) adicionaron extractos de cáscara en dos distintas formulaciones cosméticas para evaluar sus propiedades antioxidantes y microbianas. También evaluaron su estabilidad y se compararon con la de formulaciones que contenían conservantes sintéticos. El extracto de la cáscara

demostró ser una opción viable para adicionarse en cosméticos debido a que fue más eficaz y estable en emulsiones de aceite en agua, además de actuar como agente antimicrobiano y antioxidante volviéndose una opción a los conservantes sintéticos.

Salgado-León *et al.* (2025) adicionaron la fibra dietaria extraída por ultrasonido en la formulación de harinas para desarrollar “*hot cakes*” libres de gluten. Las formulaciones de harina adicionadas hasta en un 4 % con fibra dietaria no presentaron alteraciones significativas en cuanto a propiedades fisicoquímicas, reológicas ni microbiológicas demostrando el potencial tecnológico de la fibra dietaria como ingrediente.

## **II.8. Jitomate (*Solanum lycopersicum*)**

### **II.8.1. Generalidades del jitomate**

El jitomate es originario de América Central y del Sur, sin embargo, su domesticación y cultivo se atribuye a México como un legado a la humanidad. Es una planta perenne, pero se cultiva como planta anual, llega a alcanzar una altura de tres metros y sus frutos tienen forma de vayas carnosas que al no estar maduras son de color verde y debido a la formación de licopeno al alcanzar la madurez toman un color rojo intenso (Kumar *et al.*, 2020). Presenta un sutil sabor ácido, su forma es redonda y achatada, aunque en algunas variedades el fruto es alargado. Se cultiva en zonas templadas y cálidas, en clima húmedo con temperatura óptima de 20 a 24 °C y humedad relativa superior a 75 % (SAGARPA, 2017).

Se pueden clasificar en dos categorías principales según su uso: para consumo directo o para procesamiento. Cada una de estas categorías requiere variedades específicas adaptadas a los diferentes sistemas de cultivo (Díez & Nuez, 2008).

### **II.8.2. Producción y consumo en México**

La producción de jitomate durante el año 2023 fue de 3.63 millones de toneladas lo que ubicó a México como séptimo productor de jitomate a nivel mundial (SADER, 2024b). Las hectáreas sembradas crecieron 4 % en comparación con el 2021 alcanzando las 25424 hectáreas. En cuanto a la producción de jitomate durante el 2024, esta fue de 3.60 millones de toneladas con 973 mil hectáreas exportadas (SADER, 2024c).

El jitomate puede ser consumido de diversas formas: frescos, cocidos, estofados, en salsas o combinados con otros alimentos; además, tienen aplicaciones culinarias tanto como ingrediente principal o en procesamiento comercial, principalmente en forma de pasta, jugo o polvo (Díez & Nuez, 2008).

### **II.8.3. Composición química**

El jitomate está compuesto de piel, semillas y pulpa, y es rico en una variedad de nutrientes esenciales como vitaminas (A, C, E, K), minerales (Ca, K, Na, P, Mg, S), fibra, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos monoinsaturados, carotenoides y fitoesteroles (Ali *et al.*, 2021). Su piel contiene un nivel de licopeno muy elevado, incluso 2.5 veces mayor al de la pulpa, también tiene alrededor de 70 % de fibra; la pulpa es 75 % agua, 11.9 % de grasa, 26.8 % de proteína y 26.3 % de fibra cruda (Gao *et al.*, 2022; Ferrando *et al.*, 2024). En cuanto a las semillas, estas presentan 30 % de lípidos y 34 % de proteínas, especialmente que destacan por su contenido de lisina; almacenan compuestos fenólicos bioactivos (flavonoides y ácidos fenólicos), carotenoides ( $\beta$ -caroteno y licopeno) y nucleósidos (guanidina, inosina y adenosina) (Ray *et al.*, 2016; Ali *et al.*, 2021).

Kurina *et al.* (2021) reportaron un contenido de caroteno de 3.25 mg/100 g, de licopeno entre 26.32 y 32.52 mg/100 g y de antocianinas entre 32.89 y 588.86 mg/100 g. Rosa-Martínez *et al.* (2021) reportaron 75 % de vitamina C y un alto contenido de fructosa, que representa el 50 % de los azúcares totales del fruto.

#### **II.8.4 Compuestos bioactivos del jitomate**

El jitomate es rico en compuestos bioactivos, como la fibra dietaria, carotenoides y compuestos fenólicos, gracias a los cuales presenta propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antialérgicas, antimicrobianas, cardioprotectoras y vasodilatadoras (Shah *et al.*, 2020). Estos compuestos bioactivos se pueden extraer y reciclar estos compuestos bioactivos para ser utilizados como ingredientes o aditivos en la industria alimentaria, promoviendo la prevención de enfermedades cardiovasculares o crónicas como el cáncer (Coelho *et al.*, 2023).

Los compuestos bioactivos del jitomate se ven afectados por el calor ya que este puede inducir la degradación de compuestos sensibles, como la vitamina C y ciertos polifenoles hidrosolubles, cuya concentración disminuye durante el procesamiento térmico (Wu *et al.*, 2022). Por otro lado, el tratamiento térmico puede también favorecer la isomerización del licopeno desde su forma trans a cis, aumentando su biodisponibilidad y potencial antioxidante (Arballo *et al.*, 2021). La cocción facilita la liberación del licopeno de la matriz celular del jitomate, mejorando su absorción en el organismo (Dewanto *et al.*, 2002).

##### **II.8.4.1 Fibra dietaria**

El contenido de fibra dietaria en el jitomate es de entre 21 y 27 % del fruto íntegro, donde alrededor del 84 % del total se encuentra en la piel (71 % insoluble y 14 % soluble) y aproximadamente el 18 % en las semillas (Kumar *et al.*, 2021; Coelho *et al.*, 2023). También se han reportado 1.2 g de fibra en jitomates rojos, maduros y crudos; 0.7 g en jitomates rojos, maduros y cocidos, y 1.1 g en jitomates verdes y crudos (Chaudhary *et al.*, 2018). Navarro-González *et al.* (2022) han reportado que la fibra dietaria total en la cáscara de jitomate puede alcanzar hasta 86.15 g/100 g en peso seco, con una proporción de soluble a insoluble de 10:1. Esta fibra está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que contribuyen a la salud digestiva al mejorar el tránsito intestinal y prevenir el estreñimiento (López Bermúdez *et al.*, 2022).



Además, tiene diversas aplicaciones, por ejemplo, Namir *et al.* (2015) formularon hamburguesas de carne de ternera utilizando pectina de fibra de jitomate como sustituto de grasa con la finalidad de mejorar las propiedades culinarias de la hamburguesa, aprovechar el orujo de jitomate y brindar a los consumidores un producto bajo en grasa y rico en fibra.

#### **II.8.4.2 Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos que se han reportado en el jitomate son los ácidos fenólicos (ácido cafeico, clorogénico, sinápico, *p*-cumárico y ferúlico) y flavonoides (quercetina, rutina, kaempferol y naringenina), siendo el ácido clorogénico y la quercetina los más abundantes (Chaudhary *et al.*, 2018). Las semillas en especial son ricas en ácido gálico, trans-cinámico y quercetina (Kumar *et al.*, 2021).

Los compuestos fenólicos presentes en el jitomate, como la quercetina, rutina, naringenina y ácido clorogénico, muestran una amplia gama de actividades biológicas que incluyen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, anticancerígenas y efectos prebióticos, que contribuyen a la salud digestiva al inhibir bacterias patógenas y favorecer el crecimiento de bacterias beneficiosas (Zhang *et al.*, 2024; Georgaki *et al.*, 2024; Cheshmehsangi *et al.*, 2025; Mele *et al.*, 2025;). De igual forma, presentan capacidad para modular el estrés oxidativo y mejorar la función intestinal (Georgaki *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2024). Además, contribuyen en la mejora del sabor, aroma y apariencia del jitomate (Shah *et al.*, 2020).

Se han reportado diferentes compuestos fenólicos, por ejemplo: chalcona de naringenina de 0.9 a 18.2 mg/100 g de peso fresco (PF), seguido por la rutina con 0.5 a 4.5 mg/100 g PF, la quercetina con 0.7 a 4.4 mg/100 g PF, ácido clorogénico con 1.4 a 3.3 mg/100 g PF, ácido cafeico con 0.1 a 1.3 mg/100 g PF y naringenina con 0 a 1.3 mg/100 g PF (Chaudhary *et al.*, 2018). Por otro lado, Baltacıoğlu *et al.* (2021) extrajeron los compuestos fenólicos del jitomate utilizando la extracción asistida por microondas. Reportaron al ácido clorogénico como el principal compuesto en los extractos con 52.33 mg/kg PF, seguido por el ácido cafeico (5.03

mg/kg PF), ácido *p*-cumárico (0.803 mg/kg PF) y ácido ferúlico (0.506 mg/kg PF). Las diferencias se han atribuido a las condiciones ambientales como los cambios en la temperatura, el origen de la planta e la composición química de la tierra (Botella *et al.*, 2021; Ramírez-Flores *et al.*, 2021).

#### **II.8.4.3 Carotenoides**

Los carotenoides son pigmentos tetraterpénicos donde la mayoría se compone de ocho unidades de isopreno con un esqueleto de 40 carbonos y presentan colores amarillo, rojo, naranja y morado, y están presentes en bacterias fotosintéticas, hongos, algas, plantas y animales (Maoka, 2020). En plantas se comportan como captadores de luz y componentes estructurales de fotosistemas lo que los hace indispensables en el proceso de fotosíntesis y fotoprotección; son los responsables del color en flores y frutos y actúan como precursores para la formación de fitohormonas (Zia-Ul-Haq *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2022).

Los carotenoides se clasifican de acuerdo con su estructura química en carotenos (licopeno y  $\beta$ -caroteno) que son hidrocarburos puros, y xantofilas (luteína, zeaxantina y  $\beta$ -criptoxantina) que contienen oxígeno en su estructura (Arballo *et al.*, 2021).

##### **II.8.4.3.1. Licopeno**

El licopeno es un compuesto tetraterpénico con ocho unidades de isopreno y 11 enlaces lineales dobles, se encuentra principalmente en el jitomate y es el responsable de su color rojo característico; constituye alrededor del 85 % del contenido de carotenoides presentes lo que equivale a 18.6-64.98 mg/kg de peso fresco (Navarro-González & Periago, 2016; Imran *et al.*, 2020).

Es de los compuestos más estudiados debido a sus propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas, ya que se ha demostrado que el consumo diario de este compuesto está asociado con la disminución de enfermedades cardiovasculares al disminuir los niveles de la fracción de colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y la presión arterial, del riesgo de padecer cáncer de mama, pulmón, ovario, estómago, pero sobre todo de próstata, así como mejorar la salud

ocular (Imran *et al.*, 2020; Khan *et al.*, 2021; Laranjeira *et al.* 2022; Balali *et al.*, 2025;. Además, el consumo de licopeno se ha asociado con una menor incidencia de diabetes tipo 2, gracias a sus efectos antioxidantes y antiinflamatorios (Tufail *et al.*, 2024).

También, se ha reportado una disminución en la proliferación de células de carcinoma de ganglio linfático de prostata (LNCaP) al encontrarse en un medio de cultivo con distintas concentraciones de licopeno (Mirahmadi *et al.*, 2020).

#### **II.8.4.3.2. $\beta$ -caroteno**

El  $\beta$ -caroteno es un pigmento natural de color rojo-anaranjado, soluble en lípidos y se encuentra principalmente en las plantas. Está presente en frutas de color amarillo y naranja como el mango, en verduras de hojas verdes como las calabazas y zanahorias (Chen *et al.*, 2021a). Es precursor de la vitamina A la cual es indispensable para el sistema inmunológico y la vista (Sun *et al.*, 2022).

En la literatura para el jitomate se ha reportado una concentración de  $\beta$ -caroteno de aproximadamente 9942.16  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  (Ali *et al.*, 2021). También puede variar entre 0.79 mg/kg a 14.6 mg/kg y representa el 10.7 % del contenido total de carotenoides (Navarro-González & Periago, 2016).

El  $\beta$ -caroteno no solo ayuda a prevenir enfermedades, también contribuye en la mejora del pronóstico, gracias su capacidad y actividad antioxidante y antiinflamatoria (Anand *et al.*, 2022). Su ingesta ha mostrado reducción en el tamaño de los adipocitos y del tejido adiposo corporal, disminución de los marcadores poli inflamatorios, LDL y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), así como mejora en la resistencia a la insulina (Marcelino *et al.*, 2020).

#### **II.8.4.3.3. Luteína**

La luteína es un pigmento que le proporciona color amarillo o naranja a varias frutas y verduras (melón, pimienta y zanahoria), el maíz, el salmón e incluso la yema de huevo (Mitra *et al.*, 2021). En la literatura se ha reportado un contenido un bajo contenido de luteína en el jitomate maduro (aproximadamente 60.67  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) y en

jitomates inmaduros se ha mostrado ausencia de esta (Chaudhary *et al.*, 2018; Ali *et al.*, 2021).

La luteína también tiene importantes efectos sobre la salud humana, especialmente con enfermedades oculares como la degeneración macular (Szabo *et al.*, 2021; Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2021). La luteína es uno de los carotenoides presentes tanto en la mácula como en el cristalino del ojo y ayuda a absorber la luz azul visible, protegiendo a las estructuras oculares de recibir altas dosis de esta radiación (Mrowicka *et al.*, 2022).

## **II.9. Salsas, aderezos y dips**

De acuerdo al Codex Alimentarius (2023), los aderezos son productos alimenticios que se incluyen en la categoría 12.6.1, que abarca "salsas emulsionadas o claras", como la mayonesa y los aderezos para ensaladas. Estos productos se caracterizan por ser emulsiones de grasa o aceite en agua, y pueden incluir ingredientes como mostaza, vinagre, hierbas, especias, sal y azúcar. Su función principal es mejorar el sabor, la textura y la apariencia de los alimentos. En cuanto a los dips, se definen como una mezcla de ingredientes utilizada para realzar el sabor de los alimentos o para acompañarlos, por ejemplo, las papas fritas, panes, tallarines o aperitivos y bocadillos (Solagne, 2023).

García-Casal *et al.* (2016) clasifican a las salsas y aderezos en emulsionados y no emulsionados.

**Salsas y aderezos emulsionados:** son aquellos que contienen una emulsión de grasa o aceite en agua. Por ejemplo, aderezos para ensaladas, productos para untar en sándwiches y salsas grasosas para refrigerios.

**Salsas no emulsionadas:** como el ketchup y la salsa de queso, incluyen agua o leche de coco y pueden ser a base de leche, como la salsa BBQ.

Debido al interés de los consumidores de alimentos más frescos y saludables, Williams *et al.* (2016) desarrollaron un aderezo bajo en grasa a base de pulpa de mango mediante el uso goma guar y goma arábica en concentraciones de

0.1 % y 0.15 %. La formulación con 0.15 % de las gomas presentó una mayor estabilidad, sin embargo, no se realizó un análisis sensorial. García *et al.* (2019) elaboraron un aderezo untado de berenjena ahumada y evaluaron su aceptabilidad para darle un valor agregado a la fruta, ya que usualmente se comercializa sin sufrir ninguna transformación. El producto obtuvo una aceptabilidad media de 3.65% y se determinó que es un buen acompañante de otros alimentos como la carne. Por otro lado, Solagne (2023) desarrolló un aderezo vegano sabor a queso utilizando como espesante aquafaba (líquido resultante de la cocción de legumbres) de garbanzo obteniendo como resultado que la viscosidad del producto es mayor conforme se incrementa el porcentaje de aquafaba, dando la oportunidad de utilizarse como espesante en este producto y otros tipos de aderezos.

### **II.9.1. Ingredientes utilizados en su elaboración**

La composición de los aderezos incluye una variedad de ingredientes que cumplen funciones específicas en la formulación. Entre los componentes básicos se encuentran los aceites y grasas, que constituyen la fase lipídica en emulsiones como la mayonesa y los aderezos para ensaladas; la agua, que conforma la fase acuosa; y los emulsionantes, como la lecitina o los ésteres de poliglicerol, que estabilizan la mezcla de fases inmiscibles (Comisión del Codex Alimentarius, 2011a, 2011b). Los espesantes, como gomas y almidones modificados, se incorporan para lograr la consistencia deseada, mientras que los acidificantes, como el vinagre o el ácido cítrico, contribuyen al sabor y a la conservación del producto (Comisión del Codex Alimentarius, 2016). La sal y el azúcar se utilizan para ajustar el sabor, y las especias y condimentos aportan aroma y complejidad sensorial (FAOLEX, 2011a, 2011b). Finalmente, los conservadores se añaden para prolongar la vida útil y garantizar la inocuidad durante el almacenamiento (Comisión del Codex Alimentarius, 2003).

## II. JUSTIFICACIÓN

México es el principal productor, exportador y consumidor de aguacate en el mundo, y de los principales respecto al jitomate. Desde la cosecha hasta el procesamiento del aguacate para generar diversos productos como aderezos, aceites, helados, pastas, botanas, dulces, formulaciones cosméticas y medicinales, se generan subproductos (cáscara, semilla, pulpa) que no son aprovechados y son ricos en una diversidad de compuestos que brindan beneficios a la salud. Los compuestos bioactivos de estos subproductos agrícolas pueden extraerse y llegar a formar parte de la formulación de otros productos desde alimentos hasta cosméticos y fármacos dándoles un valor agregado. En cuanto al jitomate, es rico en vitaminas, minerales, fibra, proteína, aminoácidos esenciales, entre otros. Al momento de su cosecha, al no alcanzar los estándares de calidad para su exportación y/o comercialización en el país se genera un 10 % de desperdicio, que podría ser aprovechado para su procesamiento y generación de nuevos productos. Debido a esta generación de subproductos surge el modelo de economía circular que busca eliminar estos residuos industriales para utilizarlos como ingredientes en nuevas formulaciones.

En este trabajo de investigación se ha desarrollado un aderezo a base de jitomate (*Solanum lycopersicum*) que no cumple con las características para su comercialización, adicionado con la fibra antioxidante de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass', para así por medio de una estrategia de economía circular contribuir a la valorización de estos subproductos y de la mano reducir el impacto ambiental que su mal manejo provoca.

### **III. OBJETIVOS**

#### **IV.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar y caracterizar la composición química, nutraceutica y fisicoquímica de un aderezo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado de fibra antioxidante de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass').

#### **IV.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar la composición química y nutraceutica del jitomate (*Solanum lycopersicum*) y cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass').
2. Desarrollar un aderezo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado de fibra de cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass').
3. Caracterizar la composición química, fisicoquímica y nutraceutica del aderezo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado con fibra de cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass').
4. Analizar el impacto de los componentes de la fibra y los compuestos fenólicos mayoritarios del aderezo contra objetivos moleculares vinculados a mecanismos antioxidantes a través del uso de herramientas bioinformáticas.
5. Evaluar la aceptación sensorial del aderezo desarrollado mediante un panel de consumidores no entrenado.

### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **V.1. Materiales**

##### **V.1.1. Materia prima**

Se utilizaron cáscaras de aguacates maduros (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' obtenidos de supermercados locales (Santiago de Querétaro, Querétaro). Los jitomates (*Solanum lycopersicum*) cv.'Saladet' en grado 5 de maduración, fueron aquellos descartados por no cumplir con los requisitos de calidad (tamaño) y

se obtuvieron de los invernaderos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala. En cuanto a los demás ingredientes, estos se adquirieron de marcas comerciales. Las cáscaras de aguacate se lavaron para eliminar cualquier resto de pulpa que pudiera quedar en ellas y posteriormente se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio 200 ppm. Se realizó nuevamente un lavado a las cáscaras para eliminar residuos del hipoclorito de sodio, para después almacenarlas en congelación a -17 °C. Para procesarlas, se secaron en una estufa a 75 °C durante 6 horas hasta lograr una humedad de 6 % al 8 %, para posteriormente ser molidas y tamizadas por malla 60 hasta un tamaño de partículas menor a 250 µm. Los jitomates se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio 200 ppm. Se volvieron a lavar y posteriormente se cortaron en rodajas para licuarlos utilizando una licuadora comercial. Finalmente, la mezcla obtenida fue tamizada por malla 60.

#### **V.1.2. Reactivos**

Todos los reactivos empleados en esta investigación se obtuvieron de las compañías (marca) Sigma-Aldrich y J.T. Baker, a menos que se señalara lo contrario.

#### **V.2. Extracción de la fibra de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' por ultrasonido**

Previo a la extracción de fibra por medio del ultrasonido, se siguió la metodología de Devi *et al.* (2023) para así eliminar sustancias solubles de la muestra, tales como ácidos orgánicos, proteínas y azúcares libres. La muestra se trató con etanol al 90 % (1:10 muestra/solvente) durante 90 min con agitación constante a 350 rpm. Pasado el tiempo, la mezcla se centrifugó a 2500× *g* por 15 min y el residuo sólido se secó a 60 °C por 12 h. La extracción de la fibra se llevó a cabo por medio de la metodología propuesta por Ding *et al.* (2020) con modificaciones realizadas por Salgado (2024) empleando un ultrasonido de alta frecuencia Hielscher UP400St (Hielscher ultrasonics, Alemania). La muestra se trató



con agua (1:40 muestra/solvente) por 40 min con 20 % de amplitud. Posteriormente fue centrifugada a 2500 g por 15 min y el residuo sólido se secó a 60 °C por 12 h.

### **V.3. Desarrollo del aderezo de jitomate adicionado con fibra de cáscara de aguacate cv. 'Hass'**

El aderezo fue elaborado en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, en la Planta Piloto de la Facultad de Química, y de acuerdo a la NOM-120-SSA1-1994 siguiendo las buenas prácticas de manufactura. Para la formulación, se realizó un diseño de mezclas tomando como factores:

- $x_1$ : Pulpa de jitomate (%)
- $x_2$ : Fibra antioxidante (%)
- $x_3$  Goma xantana (%)

Los demás componentes se mantuvieron fijos. De igual manera, se tomó en cuenta lo establecido por la NOM-086-SSA1-1994 que dice que los productos adicionados de fibra son aquellos que contienen  $\geq 2.5$  g/porción de fibra en relación al contenido original o su similar.

Se siguió el procedimiento descrito por Martínez (2009) con modificaciones, teniendo como ingredientes: la pulpa de jitomate (como base), fibra de cáscara de aguacate 'Hass', goma xantana (como espesante y estabilizante), paprika, sal y ajo (como especias y condimento). Estos se mezclaron con ayuda de un homogeneizador, se guardaron en frascos de vidrio para posteriormente ser pasteurizados a 72 °C durante 15 minutos. Las muestras pasteurizadas fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C.

### **V.4. Caracterización química**

La caracterización química de la pulpa de jitomate, fibra antioxidante de la cáscara de aguacate y del aderezo se llevó a cabo de acuerdo a las metodologías descritas por la AOAC (2002).

#### **V.4.1. Determinación de humedad**

La determinación de la humedad se realizó siguiendo el método 925.23 de la AOAC (2002). En crisoles de porcelana se pesaron 3 g de la muestra y se introdujeron a la estufa durante 3 horas a 130 °C. Pasado el tiempo, se colocaron los crisoles por 40 minutos en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Finalmente se pesaron y con esos datos se calculó la humedad a partir de la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(W_1 + W_2) - W_3}{W_2} \times 100$$

Donde:

$W_1$  = Peso inicial del crisol a peso constante (g)

$W_2$  = Peso de la muestra (g)

$W_3$  = Peso final del crisol con la muestra (g)

#### **V.4.2. Determinación de proteínas**

La determinación de proteína se realizó utilizando el método 920.15 de la AOAC (2002). Se colocaron 0.5 g de muestra en un tubo Kjeldahl junto con 3.5 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 0.4 g de  $\text{CuSO}_4$  y 15 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Simultáneamente, en otro tubo idéntico se preparó un blanco con todos los reactivos con excepción de la muestra. Ambos tubos se ubicaron en la plancha del digestor y se calentaron gradualmente hasta alcanzar los 400 °C. El calentamiento prosiguió hasta que se observó un cambio de coloración a azul-verde turquesa. Posteriormente, se dejó enfriar al tubo antes de añadirle 100 mL de agua destilada.

Para realizar la destilación, se añadieron 50 mL de NaOH al 40% y se dejó destilar hasta obtener aproximadamente 150 mL de destilado, el cual se recogió en un matraz Erlenmeyer de 250 mL con 25 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (0.2 N), junto con rojo de metilo y verde de bromocresol como indicadores. Posteriormente, se tituló con HCl (0.1 N) para determinar el nitrógeno total, el cual se multiplicó por 6.25 (factor de conversión correspondiente al porcentaje de proteína presente en la muestra).

Los cálculos para la determinación de nitrógeno total y la conversión a proteína se realizaron por medio de las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Nitrogeno} = \frac{(A - B) C}{D} \times 1.401$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

Donde:

A = Volumen de HCl gastado para titular la muestra (mL)

B = Volumen de HCl gastado para titular la solución blanco (mL)

C = Concentración de HCl (N)

D = Peso de la muestra (g)

#### **V.4.3. Determinación de lípidos**

Los lípidos totales se determinaron siguiendo el método 7.056 AOAC (2002). En un cartucho de celulosa se colocaron 3 g de muestra y se cubrieron con algodón para ser situado en el compartimiento de extracción de Soxhlet, donde se encontró un matraz a peso constante al que se le adicionará éter de petróleo hasta cubrir 2/3 partes de su volumen, de tal forma que se cubrirá la muestra y se pueda observar el efecto sifón. Posteriormente, se ajustará el flujo de extracción a 10 reflujos por hora durante 4 horas. Transcurrido el tiempo de extracción se recuperará el matraz para ser secado en una estufa a 100 °C para así retirar la humedad y los residuos del solvente. Para finalizar, el matraz se pasó a un desecador hasta llegar a temperatura ambiente y fue pesado. El contenido de lípidos se estimó empleando la siguiente formula:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{(W_1 + W_2) - W_3}{W_2} \times 100$$

Donde:

$W_1$  = Peso inicial del matraz a peso constante (g)

$W_2$  = Peso de la muestra (g)

$W_3$  = Peso final del crisol con los lípidos (g)

#### **V.4.4. Determinación de cenizas**

Para hacer la determinación de cenizas, se siguió el método 945.46 de la AOAC (2002). En crisoles de porcelana se pesaron 3 g de muestra para introducirlas en una mufla a una temperatura de 550 °C – 600 °C hasta obtener cenizas de color blanco o gris claro. Después se dejaron enfriar a los crisoles en un desecador para pesarlos con las cenizas y realizar los cálculos correspondientes con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \left(1 - \frac{(W_1 + W_2) - W_3}{W_2}\right) \times 100$$

Donde:

$W_1$  = Peso inicial del crisol a peso constante (g)

$W_2$  = Peso de la muestra (g)

$W_3$  = Peso final del crisol con las cenizas (g)

#### **V.4.5. Determinación de carbohidratos**

La determinación de carbohidratos se calculó por diferencia con la siguiente formula:

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Cenizas} - \% \text{ Lípidos} - \% \text{ Proteína}$$

#### **V.4.6. Determinación de fibra dietaria total**

La fibra dietaria total se determinó con la suma del porcentaje la fibra insoluble y la fibra soluble.

##### **V.4.6.1. Determinación de fibra dietaria insoluble**

La determinación de la fibra dietaria insoluble se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Shiga *et al.* (2003). Se pesó 1 g de muestra desgrasada y pulverizada, luego se añadieron 50 mL de solución amortiguadora de fosfato (0.08 M, pH 6) y 100 µL de la enzima α-amilasa termoestable. La muestra se cubrió con papel aluminio para protegerla de la luz y evitar la evaporación. Se incubó en baño

maría a 95 °C con agitación constante durante 30 minutos. Al finalizar el tiempo, se enfrió y se ajustó el pH de las muestras a 7.5 con *NaOH* (0.275 N).

Después, se adicionaron 100 µL de proteasa y se incubó en baño maría a 60 °C con agitación constante durante 30 minutos. Nuevamente se dejó enfriar y se ajustó el pH a 4.5 con *HCl* (0.325 N). Finalmente, se adicionaron 300 µL de amiloglucosidasa y se incubó en baño María con agitación constante durante 30 minutos a 60 °C. Pasado el tiempo y una vez atemperados, la muestra se filtró con papel Whatman No. 4 a peso constante. Se llevaron a cabo dos lavados utilizando 15 mL de etanol al 80 %. El papel filtro se secó a 60 °C durante 24 horas y después de dejarse enfriar se pesó, mientras que el filtrado se reservó para la determinación de la fibra soluble.

La fibra insoluble se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra insoluble} = \frac{W_2 - W_1}{W_3} \times 100$$

Donde:

$W_1$  = Peso inicial del papel filtro (g)

$W_2$  = Peso final del papel con el sólido filtrado (g)

$W_3$  = Peso de la muestra (g)

#### **V.4.6.2. Determinación de fibra dietaria soluble**

Al filtrado reservado de la determinación anterior se le agregó etanol al 80 % a un volumen igual y se mantuvo en reposo durante 12 horas. La solución se filtró en papel Whatman No. 4 pesado anteriormente y se realizaron dos lavados con etanol al 80 % (15 mL) y dos lavados con acetona (15 mL). Finalmente se pesó el papel filtro previamente secado y el porcentaje de fibra soluble se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra soluble} = \frac{W_2 - W_1}{W_3} \times 100$$

Donde:

$W_1$  = Peso inicial del papel filtro (g)

$W_2$  = Peso final del papel con el sólido filtrado (g)

$W_3$  = Peso de la muestra (g)

#### **V.4.7. Determinación de licopeno**

Se realizó una extracción de licopeno de las muestras siguiendo la metodología descrita por Pandya *et al.* (2017) con modificaciones. En un matraz se colocaron 5 g de muestra con 150 ml de hexano (1:30), posteriormente el matraz se colocó en un baño de agua a 40 °C durante 24 h en agitación constante. El extracto se colocó en una microplaca que se leyó a 503 nm en un espectrofotómetro. La concentración de licopeno se determinó mediante una curva de calibración con un estándar de licopeno (Sigma-Aldrich), y la concentración final se expresó en g/100 g de muestra.

#### **V.5. Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos**

Previo a la cuantificación de compuestos fenólicos, se realizaron extractos metanólicos de las muestras diluyendo 1 g de muestra en 10 ml de metanol, los cuales se colocaron en matraces que se dejaron en agitación por 24 horas.

##### **V.5.1. Fenoles totales**

Se siguió la técnica descrita por Singleton *et al.* (1999) empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu adaptado a microplacas de 96 pozos. Esta medición se realizó por triplicado. En cada pozo se colocaron 25  $\mu$ L del extracto de la muestra, 25  $\mu$ L del reactivo de Folin-Ciocalteu (disuelto previamente 1:1 en agua destilada) y 200  $\mu$ L de agua destilada. Se incubó durante 5 minutos a 40°C aislado de la luz. Después se añadieron 25  $\mu$ L de carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) al 10% m/v. Se incubaron de nuevo durante 30 minutos a 40 °C aislado de la luz. Para finalizar, se leyó la absorbancia de la muestra a 760 nm empleando un espectrofotómetro Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1). La concentración de fenoles totales se determinó mediante una curva de calibración de concentraciones

ascendentes de ácido gálico 0 a 0.1 µl/mL y la concentración final se expresó como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra.

### V.5.2. Flavonoides

Se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Oomah *et al.* (2005) adaptado a microplaca de 96 pozos. Esta medición se realizó por triplicado. En cada pozo se colocaron 50 µL del extracto de la muestra en cada pozo. Se añadieron 180 µL de metanol y 20 µL de 2-aminoetildifenilborato al 1% en metanol y se agitó la mezcla hasta lograr la homogeneidad. Después se leyó la absorbancia de la muestra a 404 nm empleando un espectrofotómetro Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1). La concentración de flavonoides se determinó mediante curva de calibración de concentraciones ascendentes de rutina desde 0 hasta 50 µg/ mL. Los resultados se expresarán como mg equivalentes de rutina por g de muestra y se calcularon utilizando la formula a continuación:

$$FT = \frac{FD \times Z \times C}{1000}$$

Donde:

FD = Factor de dilución.

C = mL de solvente entre los g de muestra, empleados en la preparación del extracto.

$$Z = \frac{Abs(Ext) - Abs(Blc) - b}{m}$$

Donde:

b = El intercepto de la curva de calibración.

m = La pendiente de la curva de calibración.

### V.5.3. Taninos condensados

Se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Feregrino-Pérez *et al.* (2008). La medición se hizo por triplicado. Primero se tomaron 50 µL del extracto y se le adicionaron 200 µL de reactivo de vainillina al 0.5 % (vainillina 1 % en metanol y HCl al 8 % en metanol a una relación 1:1) y se colocaron en una placa de 96

pocillos. Se preparó un blanco de la misma sustituyendo la muestra por 50 µL de metanol y 200 µL de *HCl* al 4 %. Los taninos condensados se cuantificaron a 492 nm en un lector de microplacas (Multiskan ASCENT ThermoLab Systems, versión 1.3.1). Finalmente, las concentraciones se obtuvieron mediante curva de calibración de (+)-catequina con concentraciones desde 0 a 0.8 mg/mL. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de (+)- catequina por gramo de muestra.

#### **V.5.4. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos por cromatografía de líquidos de alta resolución acoplado a detector con arreglo de diodos (HPLC-DAD)**

El extracto se preparó para la cuantificación mediante el pesado de 1 g de muestra y la adición de 10 mL de metanol. Posteriormente, se optimizó la extracción de los compuestos utilizando un sonicador durante 15 minutos a 37 °C.

La cuantificación de los compuestos fenólicos se realizó siguiendo la metodología descrita por Sánchez-Quezada *et al.* (2023). Se utilizó un procedimiento cromatográfico en un equipo HPLC Agilent Serie 1100, empleando una pre-columna ZORBAX Eclipse XDB-C18 y una columna Zorbax Eclipse XDB-C18 con un flujo de 0.750 mL/min. El HPLC está acoplado a un detector de arreglo de diodos. Se inyectaron 20 µL de las muestras, previamente filtradas con cartuchos de celulosa de 0.2 µm. en la columna, la temperatura a 35 °C ± 0.6 mediante un termostato. La fase móvil constó de dos disolventes, el A (agua acidificada con ácido fórmico al 0.1%) y el B (acetonitrilo). Se utilizó un gradiente lineal: 0 min [A:B 100/0], 3 min [A:B 95/5], 4 min [A:B 88/12], 7 min [A: B 80/20], 13 min [A:B 78/22], 14 min [A:B 77/23], 15 min [A:B 75/25], 17 min [A:B 74/26], 20 min [A:B 72/28], 22 min [A:B 70/30], 25 min [A:B 50/50], 26 min [A:B 25/75], 27 min [A:B 0/100], y se dejó correr durante 4 minutos adicionales. La detección se llevó a cabo a 240, 280, 330, 360 y 520 nm, y la cuantificación se efectuó mediante el método de estándar externo con estándares comerciales de epigallocatequina, epigallocatequina galato, vainillina, (+)- catequina, rutina, quercetina, ácido gálico, ácido elágico, ácido cafeico, ácido *p*-cumárico, ácido ferúlico, ácido clorogénico, cianidina, ácido hidroxibenzoico,



apigenina, teobromina y morin, preparados en metanol a concentraciones de 1 µg/mL, 0.75 µg/mL, 0.5 µg/mL, 0.25 µg/mL, 0.1 µg/mL, 0.05 µg/mL y 0.025 µg/mL.

## **V.6. Determinación de la capacidad antioxidante**

### **V.6.1. Método DPPH**

Se realizó el ensayo siguiendo la metodología de Fukumoto & Mazza (2000), adaptada para microplacas de 96 pozos y se llevó a cabo por triplicado. En cada pozo se añadieron 20 µL del extracto de la muestra y 200 µL de la solución de DPPH. Para el control, se colocaron en la microplaca 20 µL de metanol con 200 µL de la solución DPPH. Para el blanco, se utilizaron 20 µL de metanol con 200 µL del solvente utilizado para extraer la muestra. Las lecturas de absorbancia de las muestras se realizaron cada 10 minutos durante 90 minutos en un espectrofotómetro (Thermo Scientific Multiskan GO, Software UV Win Lab v.2. 85. 04, 2000) a una longitud de onda de 540 nm. Los valores se compararon a través de una curva de calibración de trolox. Se empleó como control 50 mg de vitamina E.

### **V.6.2. Método del ABTS**

Se realizó la metodología de Nenadis *et al.* (2004) en microplaca de 96 pozos y por triplicado. Se preparó una solución acuosa 7 mM de ABTS y una solución de  $K_2S_2O_8$  140 mM, con las que se realizó una mezcla utilizando 5 mL y 88 µL, respectivamente. Esta mezcla se dejó en reposo por 12 horas a temperatura ambiente y protegida de la luz. Finalizado el tiempo, se ajustó la absorbancia de la mezcla entre 0.8 y 1.0. Para montar la placa de 96 pozos, se añadieron 20 µL del extracto de la muestra y 230 µL del reactivo de ABTS activado y con absorbancia ajustada. Para el control, se colocaron en la microplaca 20 µL de metanol con 230 µL de la solución ABTS. Para el blanco, se utilizaron 20 µL de metanol con 230 µL del solvente utilizado para extraer la muestra. Las lecturas de absorbancia de las muestras se realizaron en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 734 nm. Los resultados se compararon contra una curva de calibración elaborada con trolox

(800 µL) como estándar y los resultados fueron expresados como µmol equivalente de trolox/g de muestra.

### **V.6.3. Método de FRAP**

Se llevó a cabo la metodología establecida por Benzie & Strain (1996) adaptada a microplaca. Con ayuda de una micropipeta se colocaron 25 µl de la muestra en cada pocillo y se adicionaron 175 µl de la solución de trabajo FRAP (buffer de acetato, cloruro férrico, TPTZ). La microplaca se leyó a 595 nm en un espectrofotómetro. Los resultados obtenidos se expresaron como µmol equivalentes de Trolox/g de muestra seca (TEAC) y se compararon contra una curva de calibración realizada con trolox.

## **V.7. Caracterización fisicoquímica**

### **V.7.1. Evaluación de color**

Se determinó por medio de un espectrofotómetro portátil Minolta CM-202. La medición de color se llevó a cabo según lo recomendado por la Comisión Internacional de Iluminación (2004) (CIE por sus siglas en inglés). Los resultados fueron expresados en términos de luminosidad ( $L^*$ ), color rojo ( $a^*$ ) y color amarillo ( $b^*$ ). Las pruebas se realizaron por triplicado.

### **V.7.2. Medición de pH**

El pH se determinó a temperatura ambiente por medio de un potenciómetro (Orion 3 Star, Thermo Scientific) previamente calibrado con estándares de 4, 7 y 10.

### **V.7.4. Análisis de consistencia**

El análisis consistencia se realizó en un textuómetro (TA-TX plus, Stable Micro Systems Ltd) siguiendo los parámetros establecidos en manual del equipo y mayonesas. A 200 g del producto se le aplicó un 5 g de fuerza a una velocidad de 1.0 mm/seg.

### **V.7.5. Análisis de viscosidad**

El análisis consistencia se realizó en un reometro (TA-TX plus, Stable Micro Systems Ltd) siguiendo los parámetros establecidos en el manual del equipo para salsas y mayonesas.

## **V.8. Análisis sensorial**

### **V.8.1. Análisis microbiológico**

La evaluación de la calidad microbiológica de las materias primas y del producto final fue realizado por el laboratorio LECRIMA-UAQ (Laboratorio para la Evaluación y Control de Riesgos Microbianos en Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro) que incluyó los siguientes ensayos: conteo de bacterias mesófilas aerobias en placa, conteo de microorganismos coliformes totales en placa y conteo de mohos y levaduras en alimentos, de acuerdo a lo descrito en la NOM-092-SSA1-1994, NOM-210-SSA1-2014 y NOM-111-SSA1-1994, respectivamente. En caso de encontrarse coliformes totales, se realizó una prueba de *E. coli* de acuerdo a la NOM-210-SSA1-2014.

### **V.8.2. Evaluación sensorial de preferencia y aceptabilidad**

Una vez verificada la calidad microbiológica del producto y con previa aprobación del comité de bioética (No. de oficio. CBQ24/070), se llevó a cabo una evaluación sensorial totalmente voluntaria integrada por 50 panelistas no entrenados (Meilgaard *et al.* 2006) que fueron reclutados por medio de una invitación abierta (Anexo 1) dirigida a la comunidad de la Universidad Autónoma de Querétaro. La evaluación sensorial se realizó en el Laboratorio de Análisis Sensorial del CAIDEP dentro del Parque Biotecnológico de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Los panelistas recibieron un consentimiento informado (Anexo 2) en el que se indica el objetivo del estudio, la descripción de la composición del producto, duración y riesgos del estudio, entre otros aspectos. En caso de estar de acuerdo con el estudio, se les pidió que lo firmaran. En dado caso de querer retirarse

del estudio, se les pidió que firmaran la Revocación del consentimiento informado (Anexo 3). Los participantes fueron libres de retirarse en cualquier momento.

Es importante aclarar que, debido a la naturaleza del estudio, existió riesgo mínimo asociado a la intolerancia de alguno de los ingredientes de la formulación del aderezo. Así, los criterios de inclusión para participar fueron: tener de 18 años en adelante, ser consumidor habitual de aderezos, no presentar alguna alergia o intolerancia a los ingredientes del producto (jitomate, fibra de cáscara de aguacate, goma xantana, sal, ajo, paprika, albahaca), no estar embarazada, no encontrarse en tratamiento médico, no tener enfermedades que pudiesen afectar la percepción del sabor y de preferencia. En caso de no cumplir con alguno de los requisitos, no se les pudo incluir en estudio. En el supuesto de requerir atención médica como efecto de la participación en el presente estudio, se les brindó a los participantes en las instalaciones de la unidad médica FarmaUAQ o en la Unidad de Cuidados Médicos de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Para el primer análisis se les proporcionó a los participantes una muestra de cada formulación además de un control comercial con un código aleatorio conformado por 3 letras. Las muestras fueron presentadas de manera aleatoria y balanceada, y llenaron el Anexo 4 (Formato 1). Para la prueba sensorial de agrado, se utilizó una escala hedónica de 9 puntos:

1. Me disgusta extremadamente
2. Me disgusta mucho
3. Me disgusta moderadamente
4. Me disgusta poco
5. Ni me gusta ni me disgusta
6. Me gusta poco
7. Me gusta moderadamente
8. Me gusta mucho
9. Me gusta extremadamente

Se evaluaron en el Anexo 4 (Formato 2) los parámetros: color, olor, sabor, textura, untabilidad y agrado en general.

#### **V.9. Análisis *in silico* de compuestos digeridos ensayados contra objetivos moleculares de capacidad antioxidante**

Como proteínas modelo se utilizaron las estructuras 3D de la base de datos de Protein Databank (<https://www.rcsb.org/>) de Glutación transferasa de rata (PDB ID: 2GST), sintetasa inducible de óxido nítrico (iNOS) humana (PDB ID: 4NOS), quinona reductasa humana (PDB ID: 1QRD) y mieloperoxidasa humana (PDB ID: 1MHL). Las estructuras de los ligandos (polifenoles) y los receptores (proteínas) fueron preparados en AutoDock Tools v. 1.5.6. (The Scripps Research Institute, National Institute for Health, Estados Unidos) por medio de minimización energética y adición de hidrógenos. Posteriormente, se realizaron acoplamiento molecular donde se seleccionaron las estructuras que presentaron la energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ) y se graficaron en el software BioVia Discovery Studio Visualizer v. 19.1.0.1.18,287 (Dassault Systèmes, Vélizy-Villacoublay, Francia) (Velásquez-Jiménez *et al.*, 2023).

#### **V.10. Análisis estadístico**

Para las determinaciones químicas los resultados fueron expresados como la media  $\pm$  desviación estándar. Para todas estas determinaciones se realizaron 3 réplicas. Se realizó una prueba de análisis de varianza (ANDEVA o ANOVA) y las diferencias entre medias se analizaron por la prueba estadística Tukey-Kramer ( $\alpha=0.05$ ). Para los datos de evaluación sensorial, se utilizó la prueba no paramétrica de Chi Cuadrada ( $X^2$ ). Se empleó el software estadístico JMP v. 16.0 (SAS, Cary, Estados Unidos).

## **V. Resultados y discusión**

### **VI.1. Caracterización de la materia prima**

#### **VI.1.1. Composición química de jitomate y cáscara de aguacate**

Los resultados de la caracterización química de las muestras de jitomate crudo completo (JC), pulpa (PJ), de la cáscara más semilla (SC) de jitomate y de la cáscara de aguacate maduro (CAM), se muestran en el Cuadro 3. Los resultados de JC son similares a aquellos reportados por Parveen & Mishra (2021) y Shuaibu (2022). Sin embargo, difieren de lo reportado por Zambiri *et al.* (2022) principalmente en el contenido de proteína, carbohidratos y cenizas. Estas variaciones pueden deberse a la madurez del fruto utilizado, la cual no se reporta; así como a condiciones climáticas en las que se cultivó el fruto. En cuanto a SC, los resultados son similares a los reportados por Eslami *et al.* (2022) y Kumar *et al.* (2022). Se ha reportado que la piel del jitomate contiene un alto porcentaje de proteína y fibra cruda, por otro lado, las semillas presentan un alto porcentaje de proteínas ricas en lisina y ácidos grasos insaturados lo que explica los resultados obtenidos donde para la fracción SC, los porcentajes de lípidos y proteínas son mayores (Kumar *et al.*, 2022).

El contenido de cáscara de aguacate maduro (CAM) es muy similar a lo reportado por Morais *et al.* (2016). Por otro lado, los valores reportados por Nyong (2023) difieren en comparación con los obtenidos en este estudio (humedad: 13.00 %, cenizas: 12.00 %, lípidos: 15.80 %). El porcentaje de proteína se encuentra dentro del rango reportado por otros autores (6.4 – 25.46 %) (Morais *et al.* 2016; Nyong, 2023). Las variaciones en los valores reportados, al igual que con el jitomate, pueden deberse a la variedad, estado de madurez del aguacate y a condiciones tanto climáticas como ambientales.

**Cuadro 3.** Composición química del jitomate (*Solanum lycopersicum*) y cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass'

Muestra	Humedad*	Cenizas	Lípidos	Proteínas	Carbohidratos
JC	93.08 ± 0.97 <sup>a</sup>	6.79 ± 1.93 <sup>a</sup>	2.20 ± 0.71 <sup>c</sup>	12.66 ± 0.35 <sup>b</sup>	78.35 ± 2.08 <sup>a</sup>
PJ	93.97 ± 0.24 <sup>a</sup>	3.90 ± 0.08 <sup>b</sup>	5.68 ± 0.26 <sup>b</sup>	16.94 ± 0.54 <sup>a</sup>	73.47 ± 0.60 <sup>b</sup>
SC	92.12 ± 0.62 <sup>a</sup>	7.34 ± 1.74 <sup>a</sup>	20.10 ± 0.24 <sup>a</sup>	18.51 ± 0.10 <sup>a</sup>	54.05 ± 1.76 <sup>c</sup>
CAM	81.47 ± 0.60	2.94 ± 0.5	5.34 ± 0.17	11.81 ± 0.61	79.91 ± 0.88

Los resultados son el promedio ± la desviación estándar de tres experimentos independientes expresados como porcentaje (%) en base de materia seca. Las medias en un misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) según la prueba estadística de Tukey. JC: jitomate completo. PJ: pulpa de jitomate. SC: semilla y cáscara de jitomate. CAM: cáscara de aguacate maduro. \*Base húmeda. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

## VI.1.2. Composición nutracéutica de jitomate y cáscara de aguacate

### VI.1.2.1. Fibra total, insoluble y soluble

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de fibra total dietaria (soluble e insoluble) del jitomate (*Solanum lycopersicum*) y CAM (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass'. El valor obtenido de FDT para JC es mayor al intervalo de  $1.19 \pm 0.04$  a  $6.08 \pm 0.07$  (Parveen & Mishra, 2021; Zambiri *et al.*, 2022). Sobre CAM, el resultado de FDT de 53.87 % también se encuentra dentro del rango de valores reportado para la misma variedad (6.85 a 56.90 %) (Morais *et al.*, 2016; Jiménez *et al.*, 2020). Tanto para la FDT como para FDI, los valores son menores a los reportados por Salgado-León *et al.* (2025) (62.82 % y 46.39 %, respectivamente). Sin embargo, la FDS fue de 7.48 %, siendo similar a lo obtenido por Salmerón (2014) de 7.46 %.

Se caracterizó la FDT, FDI y FDS de la fibra extraída de cáscara de aguacate (FCA) (Cuadro 4). Se observan resultados muy similares a los reportados por Salgado-León *et al.* (2025) para FDT y FDI. En cuanto a FDS, se obtuvo un valor más alto de 6.43 % en comparación con el reportado de 4.72 %. Estas diferencias pueden atribuirse a condiciones ambientales del cultivo del fruto pues a pesar de que ambos estudios siguieron el mismo método de extracción, se han realizado en cosechas distintas.

**Cuadro 4.** Fibra total dietaria (soluble e insoluble) del jitomate (*Solanum lycopersicum*) y cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass'

Muestra	FDT	FDI	FDS
JC	27.34 ± 1.13 <sup>b</sup>	22.54 ± 1.10 <sup>b</sup>	4.80 ± 0.26 <sup>b</sup>
PJ	19.58 ± 1.60 <sup>c</sup>	12.25 ± 0.21 <sup>c</sup>	7.32 ± 0.07 <sup>a</sup>
SC	56.20 ± 0.47 <sup>a</sup>	51.65 ± 0.36 <sup>a</sup>	4.55 ± 0.31 <sup>b</sup>
CAM	53.87 ± 1.70 <sup>b</sup>	46.39 ± 0.31 <sup>b</sup>	7.48 ± 0.82 <sup>a</sup>
FCA	87.91 ± 1.53 <sup>b</sup>	81.48 ± 1.28 <sup>b</sup>	6.43 ± 0.28 <sup>a</sup>

Los resultados son el promedio ± la desviación estándar de tres experimentos independientes expresados como porcentaje (%) en base de materia seca. JC: jitomate completo. PJ: pulpa de jitomate. SC: semilla y cáscara de jitomate. CAM: cáscara de aguacate maduro. FCA: fibra de cáscara de aguacate. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

#### VI.1.2.2. Contenido de licopeno

En el Cuadro 5 se observa el contenido de licopeno de las muestras de jitomate. En cuanto a JC, el valor presente está en el intervalo de 0.85 a 12.7 mg/100g (Boulaajine y Hajjaj, 2024). Kumar *et al.* (2022) reportó valores para pulpa de 31.49 mg/100g, en piel de 16.74 mg/100g y en semilla de 1.6 a 16.70 mg/100g. El contenido de licopeno en PJ está muy por debajo a los valores, mientras que el



de SC es mayor tanto a lo reportado de semilla y piel. Estas podrían deberse a la madurez del fruto, ya que a medida que aumenta la maduración, se intensifica la caretogénesis, se descomponen las clorofilas y los cloroplastos se transforman en cromoplastos, lo que favorece el incremento y la diversidad de carotenoides presentes en el fruto. También, factores ambientales como la exposición a diferentes condiciones de almacenamiento, maduración y procesamiento, pueden provocar oxidación del fruto y por consiguiente pérdida de color y actividad biológica lo que podría explicar las discrepancias entre los valores de licopeno reportados (Rodríguez-Amaya *et al.*, 2008).

**Cuadro 5.** Contenido de licopeno del jitomate (*Solanum lycopersicum*)

Muestra	Licopeno
JC	11.65 ± 0.04 <sup>b</sup>
PJ	14.47 ± 0.02 <sup>b</sup>
SC	35.53 ± 0.11 <sup>a</sup>

Los resultados se expresan en mg/100 g de muestra como la media ± la desviación estándar de tres experimentos independientes. JC: jitomate completo. PJ: pulpa de jitomate. SC: semilla y cáscara de jitomate. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

### VI.1.2.3. Contenido de compuestos fenólicos libres

En el Cuadro 6 se presentan la cuantificación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de muestras de JC, PJ, SC, CAM y FCA. Los resultados para el JC muestran un contenido de compuestos fenólicos totales de 29.17 mg EAG/g, de flavonoides de 19.16 ± 0.01 mg ER/g y de taninos condensados de 5.79 mg EC/g. Kumar *et al.* (2021) reportaron un rango de contenido de fenoles totales de 67.3 a 121.8 mg EAG/g y de flavonoides de 50 a 69.2 mg ER/g de acuerdo a los cultivares que analizaron.

Por otro lado, en CAM el contenido de compuestos fenólicos totales fue  $49.33 \pm 0.40$  mg EAG/g, este valor fue mayor que el reportado por Aguilar-Méndez *et al.* (2020) de 36.5 mg EAG/g. Mientras que Lyu *et al.* (2023) reportaron 77.85 mg EAG/g. En cuanto a flavonoides, se obtuvieron 15.93 mg ER/g, un valor mayor a lo reportado por otros autores (Lyu *et al.*, 2023; Shehata y Soltan, 2023). Mientras que, el contenido de taninos condensados obtenido ( $124.75 \pm 0.12$  mg EC/g) es significativamente más bajo que el reportado en la literatura: de 148.98 mg EC/g (Lyu *et al.*, 2023).

En cuanto a FCA, el contenido de fenoles totales libres obtenido fue de  $14.94 \pm 0.03$  mg EAG/g, de flavonoides libres  $4.18 \pm 0.04$  mg ER/g y de taninos condensados libres  $23.87 \pm 0.28$  mg CE/g. Los valores de compuestos fenólicos totales y flavonoides libres son similares a los reportados por Salgado-León *et al.* (2025), aunque el de taninos condensados en el presente proyecto es mayor al reportado ( $16.41 \pm 1.93$ ).

Las diferencias entre el contenido de compuestos fenólicos en las distintas fracciones del jitomate, así como de la cáscara de aguacate y de la fibra en comparación con lo reportado en la literatura, se pueden deber a factores como la variedad analizada, las condiciones cultivo y cosecha, la manipulación postcosecha, el estado de madurez de la fruta y sus condiciones de almacenamiento, e inclusive, por el tipo de extracto utilizado (Salmerón, 2014).

**Cuadro 6.** Concentración de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados libres del jitomate (*Solanum lycopersicum*) y cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass'

Muestra	Compuestos Fenólicos Totales	Flavonoides	Taninos Condensados
JC	29.17 ± 0.02 <sup>b</sup>	19.16 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.79 ± 0.03 <sup>c</sup>
PJ	4.85 ± 0.06 <sup>c</sup>	1.53 ± 0.71 <sup>c</sup>	56.34 ± 0.06 <sup>a</sup>
SC	115.32 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.16 ± 0.44 <sup>b</sup>	39.35 ± 0.01 <sup>b</sup>
CAM	49.33 ± 0.40 <sup>a</sup>	15.93 ± 0.30 <sup>a</sup>	124.75 ± 0.12 <sup>a</sup>
FCA	14.94 ± 0.03 <sup>b</sup>	4.18 ± 0.04 <sup>b</sup>	23.87 ± 0.28 <sup>b</sup>

Los resultados son el promedio ± la desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG), miligramos equivalentes de rutina (mg ER) o miligramos equivalentes de catequina (mg CE) por gramo de muestra seca. JC: jitomate completo. PJ: pulpa de jitomate. SC: semilla y cáscara de jitomate. CAM: cáscara de aguacate maduro. FCA: fibra de cáscara de aguacate. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

#### VI.1.2.4. Capacidad antioxidante

En el Cuadro 7 se presentan valores obtenidos de capacidad antioxidante por DPPH y ABTS. JC presentó valores más elevados a los reportados por Vallejo *et al.* (2020) que fueron de 20 a 80  $\mu\text{mol ET/g}$  y 25 a 100  $\mu\text{mol ET/g}$ , respectivamente. Para CAM todos los valores están por debajo de lo rangos reportados que van de 233.85 a 327.75  $\mu\text{mol ET/g}$  para ABTS y 763.56 a 876.74  $\mu\text{mol ET/g}$  para DPPH (Araujo *et al.*, 2021; García-Ramón, 2023; Salgado-León *et al.* (2025). Finalmente, sobre la capacidad antioxidante de la FCA, los valores obtenidos son muy similares a lo reportado (Salgado-León *et al.*, 2025).

Se ha reportado en la literatura que el contenido de compuestos fenólicos se correlaciona con la capacidad antioxidante (Sánchez-Quezada, *et al.*, 2021; Lyu et

al., 2023), por lo que en esta investigación se obtuvo menor contenido de compuestos fenólicos y por tanto menor capacidad antioxidante.

**Cuadro 7.** Capacidad antioxidante contra radical ABTS, DPPH y FRAP del jitomate (*Solanum lycopersicum*) y cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass'

Muestra	ABTS	DPPH	FRAP
JC	58.02 ± 4.57 <sup>b</sup>	75.73 ± 3.26 <sup>b</sup>	524.23 ± 0.28 <sup>b</sup>
PJ	51.33 ± 0.05 <sup>c</sup>	63.16 ± 0.14 <sup>c</sup>	503.32 ± 0.25 <sup>c</sup>
SC	410.11 ± 0.04 <sup>a</sup>	103.16 ± 0.14 <sup>a</sup>	802.50 ± 0.42 <sup>a</sup>
CAM	183.69 ± 6.41 <sup>a</sup>	663.56 ± 5.48 <sup>a</sup>	335.05 ± 0.19 <sup>b</sup>
FCA	135.10 ± 1.74 <sup>b</sup>	198.42 ± 0.30 <sup>b</sup>	401.21 ± 0.07 <sup>a</sup>

Los resultados son el promedio ± la desviación estándar de tres experimentos independientes y se expresan en milimoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra seca. TEAC: Capacidad antioxidante en equivalentes de Trolox (μM equivalentes de Trolox/g de muestra). JC: jitomate crudo. PJ: pulpa de jitomate. SC: semilla y cáscara de jitomate. CAM: cáscara de aguacate maduro. FCA: fibra de cáscara de aguacate. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

## VI.2. Caracterización de las formulaciones de aderezos

### VI.2.1. Composición química de las formulaciones de aderezos

En el Cuadro 8 se pueden observar los resultados de la composición proximal de las tres formulaciones de aderezos. La humedad fue mayor en aderezo control con 0 % de fibra (QLP) de 90.26 ± 0.08 %, seguida de aderezo con 2.0 % de fibra (MXJ) de 89.78 ± 0.19 % y menor en aderezo con 3.5 % de fibra (DZT) de 87.33 ± 0.12 %. Esta disminución de humedad debido a la adición de fibra dietaria corresponde con lo reportado en la literatura, donde se describe que las fracciones de fibra reducen la fracción de agua libre al retenerla en su estructura, aumentando así la fracción seca del producto (Zhu *et al.*, 2020; Hernández-Alonso *et al.*, 2021).

En cuanto a cenizas, DZT alcanzó el mayor valor ( $7.79 \pm 0.11$  %), seguido de MXJ ( $6.73 \pm 0.18$  %) y QLP ( $4.32 \pm 0.14$  %). Este incremento refleja el aporte mineral de los ingredientes ricos en fibra ya que la adición de fibra vegetal eleva la fracción inorgánica de los alimentos (Ajila & Prasada Rao, 2020; Vargas-Solórzano *et al.*, 2022).

Por otro lado, los lípidos ( $1.66$ – $2.17$  %) y proteínas ( $4.36$ – $4.77$  %) no mostraron diferencias significativas entre formulaciones, pues la adición de fibra dietaria modifica principalmente la fracción de humedad, cenizas y carbohidratos (Ajila & Prasada Rao, 2020). Finalmente, el contenido de carbohidratos fue mayor en QLP ( $90.07 \pm 0.19$  %) y menor en DZT ( $85.99 \pm 1.06$  %), lo que refleja un efecto de dilución causado por la incorporación de fibra.

**Cuadro 8.** Composición química de las formulaciones de los aderezos

Muestra	Humedad*	Cenizas	Lípidos	Proteínas	Carbohidratos
<b>QLP</b>	$90.26 \pm 0.08^a$	$4.32 \pm 0.14^c$	$1.66 \pm 0.05^a$	$4.36 \pm 0.20^a$	$90.07 \pm 0.19^a$
<b>MXJ</b>	$89.78 \pm 0.19^b$	$6.73 \pm 0.18^b$	$1.93 \pm 0.25^a$	$4.77 \pm 0.60^a$	$87.92 \pm 0.23^{ab}$
<b>DZT</b>	$87.33 \pm 0.12^c$	$7.79 \pm 0.11^a$	$2.17 \pm 1.00^a$	$4.47 \pm 0.05^a$	$85.99 \pm 1.06^b$

Los resultados son el promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes expresados como porcentaje (%) en base de materia seca. El contenido proteico fue calculado como el contenido de nitrógeno multiplicado por el factor 6.25. Los carbohidratos se calculan a partir de la diferencia de los demás componentes. Las medias en una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) según la prueba estadística de Tukey. QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

## VI.2.2. Composición nutraceutica de las formulaciones de aderezos

### VI.2.2.1. Fibra total, insoluble y soluble

En el Cuadro 9 se observa como el contenido de fibra dietaria total aumentó significativamente de  $26.62 \pm 0.99$  % en QLP hasta  $45.97 \pm 0.42$  % en MXJ y  $54.37 \pm 0.16$  % en DZT. El incremento estuvo asociado principalmente a la fracción insoluble, que pasó de  $19.36 \pm 0.77$  % en QLP a  $34.37 \pm 0.65$  % en MXJ y  $41.39 \pm 0.34$  % en DZT. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Dhingra *et al.* (2020), además señalan que la fibra insoluble contribuye a la estructura y la retención de agua de la matriz alimentaria.

La fracción soluble también mostró un aumento, desde  $9.26 \pm 0.20$  % en QLP hasta  $11.60 \pm 0.22$  % en MXJ y  $12.98 \pm 0.51$  % en DZT. La fibra soluble se asocia con beneficios metabólicos, como la reducción de colesterol y la modulación del índice glucémico (Chen *et al.*, 2021b).

En conjunto, DZT, la cual es la formulación con el mayor contenido de fibra, ofrece un potencial funcional más elevado.

**Cuadro 9.** Fibra total dietaria (soluble e insoluble) de las formulaciones de los aderezos

Muestra	FDT	FDI	FDS
QLP	$26.62 \pm 0.99^c$	$19.36 \pm 0.77^c$	$9.26 \pm 0.2^b$
MXJ	$45.97 \pm 0.42^b$	$34.37 \pm 0.65^b$	$11.60 \pm 0.22^a$
DZT	$54.37 \pm 0.16^a$	$41.39 \pm 0.34^a$	$12.98 \pm 0.51^a$

Los resultados son el promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes expresados como porcentaje (%) en base de materia seca. Las medias en una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) según la prueba estadística de Tukey. QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

### VI.2.2.2. Contenido de licopeno

El contenido de licopeno en las distintas formulaciones se encuentra plasmado en el Cuadro 10, donde se observa que el contenido fue más alto en DZT ( $14.26 \pm 0.08$  mg/100 g), seguido de QLP ( $13.87 \pm 0.67$  mg/100 g) y finalmente MXJ ( $13.01 \pm 0.34$  mg/100 g). Este resultado indica que una mayor adición de fibra favorece la retención del carotenoide en la matriz. Shen *et al.* (2022) han señalado que la fibra puede proteger al licopeno de la degradación oxidativa y térmica al limitar su exposición al oxígeno.

Sin embargo, el valor bajo de MXJ ( $13.01 \pm 0.34$  mg/100 g) muestra que la relación no es lineal, lo que concuerda con reportes de Knockaert *et al.* (2021), quienes describen que el tipo de fibra y su interacción con la fase lipídica determinan la estabilidad final del licopeno. El aderezo DZT es la formulación con mayor potencial antioxidante en términos de contenido de licopeno.

**Cuadro 10.** Contenido de licopeno en las formulaciones de los aderezos

Muestra	Licopeno
QLP	$13.87 \pm 0.67^{ab}$
MXJ	$13.01 \pm 0.34^b$
DZT	$14.26 \pm 0.08^a$

QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. Los resultados se expresan en mg/100 g de muestra como la media  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

### VI.2.2.3. Contenido de compuestos fenólicos libres

En el Cuadro 11 se presentan los resultados del contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides y taninos condensados libres en las tres formulaciones

de aderezos. El contenido de fenoles totales aumentó de  $52.65 \pm 0.52$  mg GAE/100 g en QLP a  $68.04 \pm 0.79$  en MXJ y  $86.91 \pm 0.48$  en DZT, lo que sugeriría que la adición de fibra dietaria enriquece el perfil fenólico. Martínez-Huélamo *et al.* (2020) explican que la fibra puede retener y estabilizar polifenoles en la matriz, protegiéndolos de degradación.

Los flavonoides oscilaron entre  $33.72 \pm 0.10$  y  $39.88 \pm 0.61$  mg EC/100 g, sin diferencias significativas entre tratamientos, lo que sugiere que esta fracción depende principalmente de la pulpa de jitomate como fuente original. En cambio, los taninos condensados aumentaron de  $248.97 \pm 0.28$  mg EC/100 g en QLP a  $312.37 \pm 0.02$  en MXJ y  $383.91 \pm 0.09$  en DZT, lo que corresponde con lo señalado por Zhang *et al.* (2021), quienes describen a los taninos como una fracción mayoritaria en ingredientes vegetales y determinantes de la capacidad antioxidante.

**Cuadro 11.** Concentración de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados libres de los aderezos

Muestra	Fenoles Totales	Flavonoides	Taninos Condensados
QLP	$52.65 \pm 0.52^c$	$33.72 \pm 0.10^a$	$248.97 \pm 0.28^c$
MXJ	$68.04 \pm 0.79^b$	$38.32 \pm 0.20^a$	$312.37 \pm 0.02^b$
DZT	$86.91 \pm 0.48^a$	$39.88 \pm 0.61^a$	$383.91 \pm 0.09^a$

Los resultados son el promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG), miligramos equivalentes de rutina (mg ER) o miligramos equivalentes de catequina (mg EC) por gramo de muestra seca. QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

#### VI.2.2.4. Capacidad antioxidante

Los valores de capacidad antioxidante por medio de ABTS, DPPH y FRAP se presentan en el Cuadro 12. Los valores de ABTS fueron de  $270.58 \pm 0.04$  mmol



TE/100 g en QLP,  $296.87 \pm 0.02$  en MXJ y  $348.71 \pm 0.07$  en DZT. En DPPH, la capacidad antioxidante aumentó de  $671.03 \pm 0.16$  en QLP a  $676.16 \pm 0.05$  en MXJ y  $698.43 \pm 0.12$  en DZT. Finalmente, en FRAP se observaron valores de  $744.05 \pm 0.02$  en QLP,  $805.26 \pm 0.13$  en MXJ y  $824.78 \pm 0.06$  en DZT.

Estos resultados sugieren que la adición de fibra podría potenciar también la capacidad antioxidante, siendo DZT la formulación con mayor actividad. Flores *et al.* (2021) y Borges *et al.* (2022) señalan que existe una correlación directa entre el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante por ABTS, DPPH y FRAP. De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que el aumento en compuestos fenólicos, taninos y licopeno indican una mayor capacidad antioxidante.

**Cuadro 12.** Capacidad antioxidante contra radical ABTS, DPPH y FRAP de los aderezos

Muestra	ABTS	DPPH	FRAP
QLP	$270.58 \pm 0.04^c$	$671.03 \pm 0.16^c$	$744.05 \pm 0.02^c$
MXJ	$296.87 \pm 0.02^b$	$676.16 \pm 0.05^b$	$805.26 \pm 0.13^b$
DZT	$348.71 \pm 0.07^a$	$698.43 \pm 0.12^a$	$824.78 \pm 0.06^a$

Los resultados son el promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes y se expresan en milimoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra seca. TEAC: Capacidad antioxidante en equivalentes de Trolox (mM equivalentes de Trolox/g de muestra). QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

#### VI.2.2.5. Compuestos fenólicos detectados por HPLC-DAD

En el Cuadro 13 se presenta los cinco compuestos fenólicos detectados en las formulaciones de los aderezos por cromatografía líquida de alta resolución con arreglo de diodos (HPLC-DAD), siendo el ácido hidroxibenzóico únicamente detectado en QLP ( $4.70 \pm 0.02$  mg/100 g), mientras que en MXJ y DZT estuvo por debajo del límite de detección. Esto sugiere que la adición de fibra puede

enmascarar o degradar ciertos ácidos fenólicos de bajo peso molecular, lo cual coincide con estudios donde se observa la pérdida de algunos compuestos simples al modificar la matriz (Naczek & Shahidi, 2020).

En el caso de (+)-catequina, MXJ mostró la mayor concentración ( $9.24 \pm 0.08$  mg/100 g), en comparación con QLP ( $6.25 \pm 0.10$  mg/100 g) y DZT ( $7.76 \pm 0.06$  mg/100 g). Esta diferencia indica que una adición intermedia de fibra pudo favorecer la liberación o estabilidad de catequinas, mientras que un exceso (como en DZT) podría generar interacciones con polisacáridos que limitan su biodisponibilidad, como lo reportado por Kamiloglu *et al.* (2022).

El ácido gálico fue mayor en DZT ( $5.13 \pm 0.17$  mg/100 g), seguido de QLP ( $5.04 \pm 0.07$  mg/100 g) y menor en MXJ ( $4.64 \pm 0.05$  mg/100 g). Esto puede indicar que una matriz enriquecida con fibra más densa puede mejorar la retención de compuestos fenólicos con reconocida actividad antioxidante, en línea con lo descrito por Li *et al.* (2021).

En cuanto al ácido sinápico, este también aumentó en DZT ( $16.16 \pm 0.12$  mg/100 g) en comparación con QLP ( $15.00 \pm 0.04$  mg/100 g) y MXJ ( $14.59 \pm 0.12$  mg/100 g). Este comportamiento refuerza el rol de la fibra en la estabilización de ácidos fenólicos derivados del ácido cinámico, que además son compuestos con propiedades antiinflamatorias y antioxidantes de interés funcional (Nićiforović & Abramović, 2020).

Por otro lado, el ácido clorogénico se mantuvo relativamente estable en todas las formulaciones, sin diferencias significativas. Santana-Gálvez *et al.* (2021), destacan la estabilidad de este compuesto frente a variaciones de la matriz y a condiciones de procesamiento moderadas.

La adición de fibra sugiere que ésta influye en la cuantificación de algunos compuestos fenólicos, propiciando la reducción en algunos (ácido hidroxibenzóico), y la cuantificación de otros (ácido gálico y sinápico), así como la estabilidad (ácido clorogénico). La fibra no solo podría actuar como ingrediente tecnológico, sino que también como modulador del perfil bioactivo de los alimentos enriquecidos.

**Cuadro 13.** Compuestos fenólicos detectados por HPLC-DAD en los aderezos

Compuesto	QLP	MXJ	DZT
<b>A. Hidroxibenzóico</b>	4.70 ± 0.02 <sup>a</sup>	DLD	DLD
<b>(+)-catequina</b>	6.25 ± 0.10 <sup>c</sup>	9.24 ± 0.08 <sup>a</sup>	7.76 ± 0.06 <sup>b</sup>
<b>A. Gálico</b>	5.04 ± 0.07 <sup>b</sup>	4.64 ± 0.05 <sup>c</sup>	5.13 ± 0.17 <sup>a</sup>
<b>A. Sinápico</b>	15.00 ± 0.04 <sup>b</sup>	14.59 ± 0.12 <sup>c</sup>	16.16 ± 0.12 <sup>a</sup>
<b>A. Clorogénico</b>	8.56 ± 0.44 <sup>a</sup>	8.59 ± 0.11 <sup>a</sup>	8.91 ± 0.41 <sup>a</sup>

Todos los resultados se expresan en µg/g de muestra. Se realizaron tres réplicas para cada medición (extracción en metanol). La medición se realizó a longitud de onda de 280 nm en HPLC-DAD, utilizando estándares de los compuestos mostrados en el cuadro. DLD\*: Debajo del límite de detección. Letras diferentes por renglón representan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

### VI.2.3. Caracterización fisicoquímica de las formulaciones de aderezos

#### VI.2.3.1. pH de las formulaciones de aderezos

Los valores de pH de cada aderezo se presentan en el Cuadro 14. Los aderezos QLP y MXJ no presentaron diferencias significativas entre sí, y tuvieron valores cercanos a 3.1. En cambio, la formulación DZT presentó un valor mayor (3.39), mostrando un pH menos ácido en comparación con QLP y MXJ. Esta diferencia puede deberse a la adición de una cantidad mayor de fibra dietaria e incluso a los compuestos fenólicos presentes en la formulación DZT. Lafarga *et al.*, (2020) informaron que la adición de fibra y compuestos fenólicos puede influir en el pH de los alimentos debido a su capacidad de retener iones y modular la liberación de ácidos orgánicos. Asimismo, la presencia de minerales asociados a la fracción de cenizas, que fue más alta en DZT ( $7.79 \pm 0.11$  %), puede contribuir a un ligero incremento del pH, ya que actúan como neutralizantes de acidez (Vargas-Solórzano *et al.*, 2022).

El pH de las formulaciones QLP (3.07) y MXJ (3.15) asegura condiciones de acidez suficientes para la conservación microbiológica del producto. Sin embargo, el pH más alto de DZT (3.39) podría implicar una ligera reducción en la acidez

percibida sensorialmente, lo que en algunos casos podría ser favorable para la aceptación del consumidor. De acuerdo con estudios en aderezos y salsas vegetales, variaciones pequeñas de pH pueden modificar tanto la estabilidad de compuestos bioactivos como la percepción organoléptica del producto final (García-Hernández *et al.*, 2021).

**Cuadro 14.** Medición de pH de los aderezos

Muestra	pH
QLP	$3.07 \pm 0.17^a$
MXJ	$3.15 \pm 0.14^a$
DZT	$3.39 \pm 0.12^b$

Los resultados son el promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes. QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.

#### VI.2.3.2. Color de las formulaciones de aderezos

Los parámetros de color mostraron diferencias significativas entre las formulaciones, principalmente en los valores de  $a^*$ ,  $C^*$  y Hue, mientras que  $L^*$  y  $b^*$  permanecieron estables, como se puede observar en el Cuadro 15. La luminosidad ( $L^*$ ) fue similar entre las muestras: QLP ( $33.02 \pm 0.74$ ), MXJ ( $32.99 \pm 0.55$ ) y DZT ( $32.70 \pm 0.58$ ), sin diferencias estadísticas. Esto indica que la adición de fibra dietaria no modificó de manera notable la claridad u oscuridad del producto, lo cual concuerda con estudios en matrices vegetales donde la fibra influye más en saturación y matiz que en luminosidad (Fernández-García *et al.*, 2021).

El valor  $a^*$ , que representa el eje de color verde-rojo, fue significativamente mayor en QLP ( $25.38 \pm 0.63$ ) en comparación con MXJ ( $9.04 \pm 0.80$ ) y DZT ( $9.25 \pm 0.90$ ). Esta disminución refleja una pérdida de tonalidad rojiza en las formulaciones con fibra, posiblemente por interacciones entre los carotenoides (como el licopeno)

y la matriz enriquecida, que pueden reducir la disponibilidad óptica de pigmentos (Kaur *et al.*, 2020).

La saturación del color ( $C^*$ ) también disminuyó de manera importante en QLP ( $27.30 \pm 0.70$ ) frente a MXJ ( $13.81 \pm 1.12$ ) y DZT ( $13.74 \pm 0.95$ ). Este cambio indica que la adición de fibra genera colores menos vivos o intensos, lo cual concuerda con lo descrito por Medina-Meza *et al.* (2020), quienes señalan que los compuestos fenólicos y la fibra pueden interactuar con pigmentos, afectando la cromaticidad.

Por otro lado, el ángulo de matiz Hue fue mayor en QLP ( $68.34 \pm 0.15$ ) que en MXJ ( $40.90 \pm 0.49$ ) y DZT ( $42.32 \pm 1.52$ ). Esto significa que el control presentó un color más rojizo-naranja, mientras que el color en las formulaciones con fibra tendió a tonos más amarillentos o apagados. Estudios en aderezos vegetales muestran que la incorporación de fibra y compuestos antioxidantes puede desplazar el matiz del color por cambios en la estructura coloidal y la distribución de los pigmentos (Ares *et al.*, 2022).

**Cuadro 15.** Medición de color de los aderezos

Muestra	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	Hue
<b>QLP</b>	$33.02 \pm 0.74^a$	$25.38 \pm 0.63^a$	$10.08 \pm 0.33^a$	$27.30 \pm 0.70^a$	$68.34 \pm 0.15^a$
<b>MXJ</b>	$32.99 \pm 0.55^a$	$9.04 \pm 0.80^b$	$10.44 \pm 0.79^a$	$13.81 \pm 1.12^b$	$40.90 \pm 0.49^b$
<b>DZT</b>	$32.70 \pm 0.58^a$	$9.25 \pm 0.90^b$	$10.16 \pm 0.47^a$	$13.74 \pm 0.95^b$	$42.32 \pm 1.52^b$

Los resultados son el promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes. QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.



**Figura 2.** Sistema de color CIELAB

QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada.

#### **VI.2.3.3. Consistencia de las formulaciones de aderezos**

En la Figura 3 se observa como las curvas de textura obtenidas por análisis de perfil de textura (TPA) mostraron diferencias claras entre las formulaciones. El tratamiento DZT (3.5 % de fibra) presentó las fuerzas máximas más elevadas y un área bajo la curva considerablemente mayor como se presentan en el Cuadro 16, lo cual indica una mayor resistencia a la deformación y, por lo tanto, una textura más firme y consistente. Esta mayor consistencia puede atribuirse a la mayor incorporación de fibra dietaria, la cual contribuye a la formación de una red estructural más densa capaz de retener agua y conferir mayor rigidez a la matriz alimentaria.

La formulación MXJ (2 % de fibra) mostró un comportamiento intermedio: aunque la adición de fibra incrementó la consistencia en comparación con el control, el refuerzo estructural no alcanzó la magnitud observada en DZT. Esto sugiere que a concentraciones moderadas la fibra sí mejora la textura, pero se requiere una dosis mayor para lograr un efecto pronunciado.

La formulación QLP exhibió los valores más bajos de fuerza y área, lo cual refleja una textura más blanda y menos resistente. Esto confirma que la matriz a

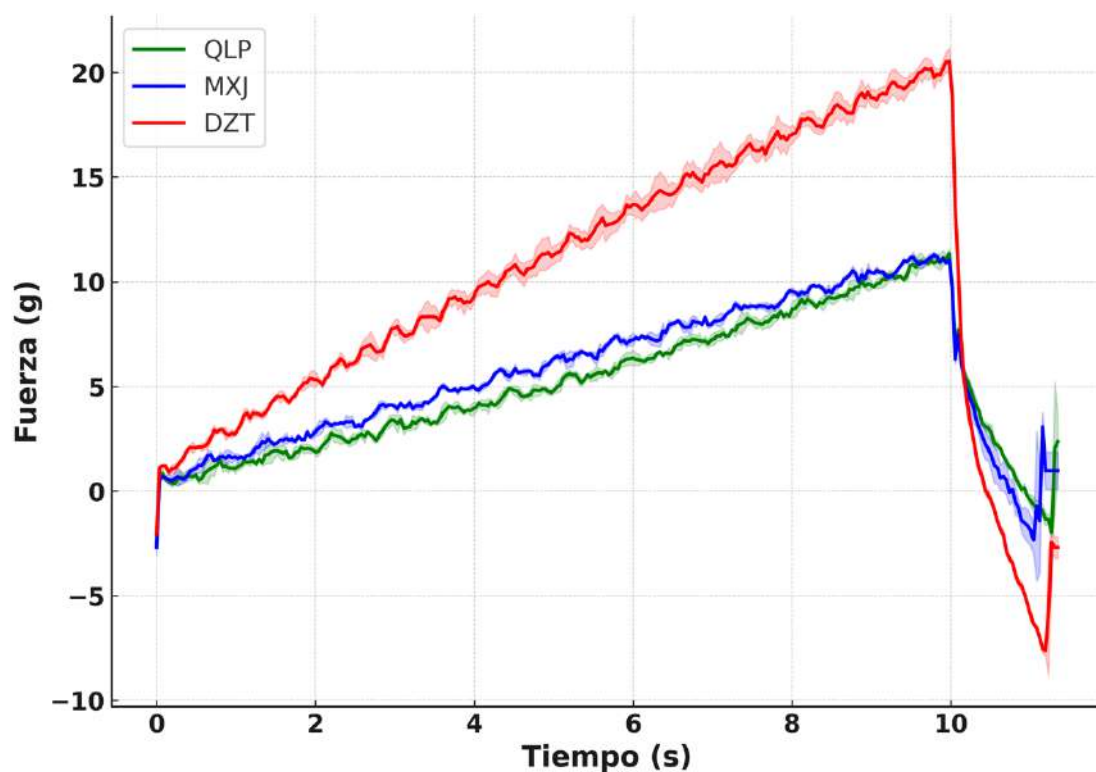
base únicamente de pulpa de jitomate presenta una consistencia limitada, y que la adición de fibra dietaria es un factor determinante en el aumento de firmeza.

El incremento del contenido de fibra adicionada mejora significativamente la textura del aderezo, aumentando su firmeza y capacidad de resistir la deformación. La inclusión de fibra no solo impacta positivamente en el perfil nutricional del producto, sino que también la fibra adicionada actúa como un agente estructurante, incrementando la cohesión y rigidez del sistema alimentario, posiblemente al retener agua y formar una red más densa de interacciones físico-químicas.

**Cuadro 16.** Consistencia de los aderezos

<b>Muestra</b>	<b>Fuerza (g)</b>	<b>Área (g·s)</b>
<b>QLP</b>	$12.12 \pm 0.59^b$	$59.09 \pm 1.86^c$
<b>MXJ</b>	$11.99 \pm 0.20^b$	$61.24 \pm 1.51^b$
<b>DZT</b>	$20.50 \pm 0.82^a$	$110.66 \pm 4.55^a$

Los resultados son el promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes. QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.



**Figura 3.** Curvas de textura

QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada.

#### VI.2.3.4. Viscosidad de las formulaciones de aderezos

En el Cuadro 17 y Figura 4, se presenta la viscosidad de los aderezos. Los resultados muestran claramente que la adición de fibra dietaria aumenta la viscosidad aparente de los aderezos. El aderezo DZT mantuvo los valores más altos a lo largo del tiempo, lo que refleja una red estructural más densa y estable, favorecida por una concentración mayor de fibra (3.5 %) y la presencia de compuestos fenólicos con capacidad antioxidante. Estos resultados concuerdan con lo reportado en sistemas emulsificados enriquecidos con fibra (Bruno *et al.*, 2022; Yu *et al.*, 2025), donde la adición de fibras solubles e insolubles induce un comportamiento pseudoplástico y mejora la estabilidad frente a la separación de fases.

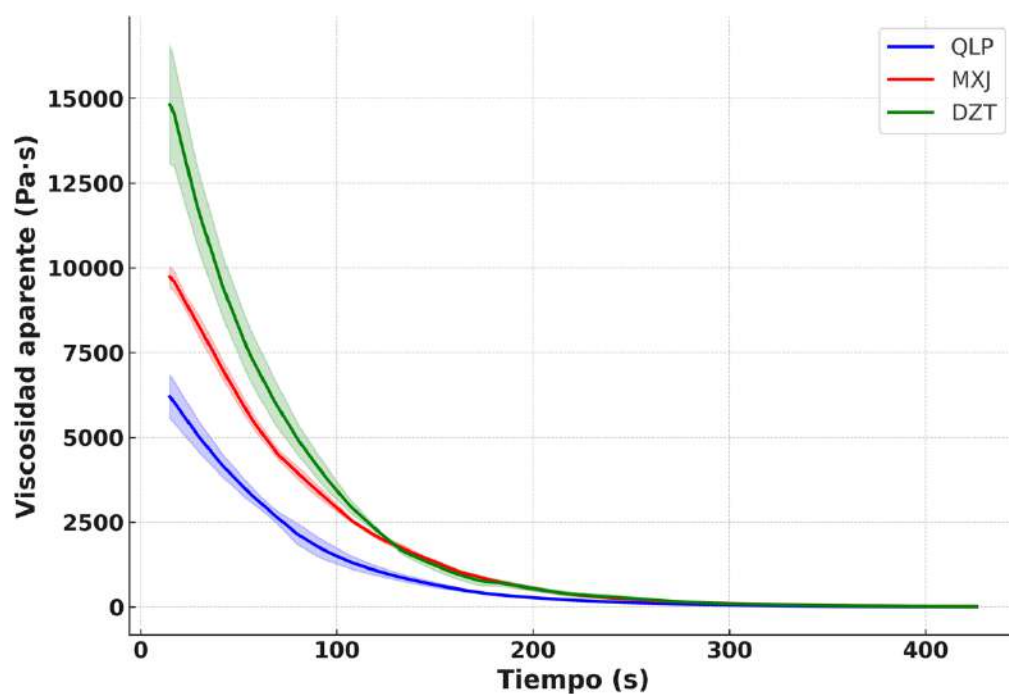


El aderezo MXJ también presentó una viscosidad superior al control, aunque menor que DZT, lo que indica que el 2 % de fibra aporta estructura pero no alcanza a formar un entramado tan fuerte. Por último, el QLP mostró la menor viscosidad y mayor caída con el tiempo, confirmando que la fibra es clave para mejorar la consistencia, estabilidad y textura percibida.

**Cuadro 17.** Viscosidad de los aderezos

<b>Muestra</b>	<b>K (pa·s<sup>n</sup>)</b>	<b>n</b>
<b>QLP</b>	624.89 ± 94.75 <sup>b</sup>	-0.05 ± 0.06 <sup>b</sup>
<b>MXJ</b>	1226.41 ± 75.10 <sup>a</sup>	0.031 ± 0.00 <sup>a</sup>
<b>DZT</b>	1372.04 ± 145.08 <sup>a</sup>	-0.06 ± 0.04 <sup>b</sup>

Los resultados son el promedio ± la desviación estándar de tres experimentos independientes. QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada. K: índice de consistencia. n: índice de comportamiento de flujo. Letras diferentes en la misma columna expresan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la prueba de Tukey-Kramer.



**Figura 4.** Curvas de viscosidad

QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada

### VI.3. Evaluación sensorial de los aderezos

Previo a la evaluación sensorial, se realizaron los análisis microbiológicos presentándose en el Cuadro 18 sus resultados. De acuerdo a los límites establecidos por la NOM-093-SSA1-1994, las tres formulaciones cumplen con todos los límites microbiológicos al ser las BMA < 3,000 UFC/g, los CT <10 UFC/g, los H <20 UFC/g, las L <50 UFC/g y E. coli <10 UFC/g, tal y como lo establece la norma.

**Cuadro 18.** Resultados microbiológicos de las muestras de aderezos

<b>Análisis Microbiológico</b>	<b>QLP</b>	<b>MXJ</b>	<b>DZT</b>
<b>BMA (UFC/G)</b>	680	10	70
<b>CT (UFC/G)</b>	<10	<10	<10
<b>H (UFC/G)</b>	<10	<10	<10
<b>L (UFC/G)</b>	<10	<10	<10
<b><i>E. coli</i> (UFC/G)</b>	<10	<10	<10

BMA: Bacterias mesófilas aerobias. CT: Coliformes totales. H: Hongos. L: Levaduras. QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada.

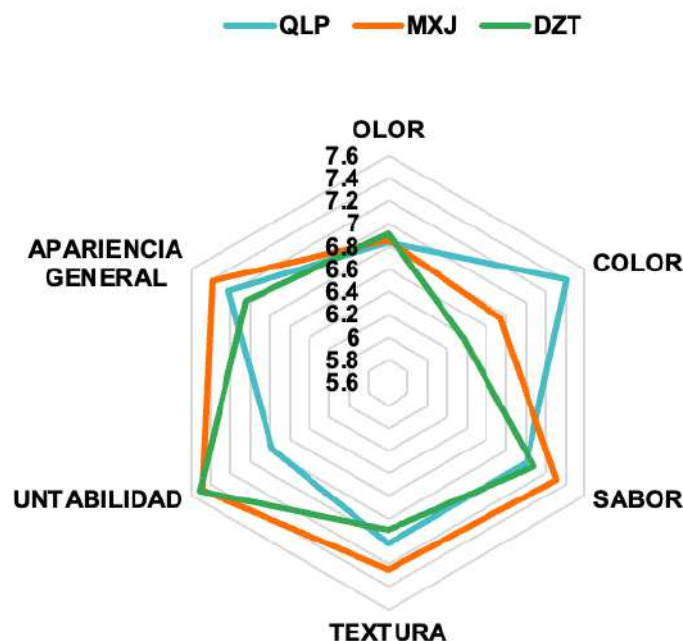
En la Figura 5 se observan los resultados de la prueba sensorial de las tres formulaciones de aderezos. El aderezo QLP fue visualmente más atractivo (color más intenso), pero su menor consistencia redujo la percepción de untabilidad y apariencia general. El MXJ mostró un perfil más balanceado, con buenas calificaciones en sabor, textura y aceptación general, lo que sugiere que un 2% de fibra logra un buen compromiso entre tecnología y sensorialidad. Finalmente, el DZT, a pesar de presentar la mejor untabilidad y mayor firmeza en los análisis físico-químicos, obtuvo valoraciones más bajas sensorialmente en cuanto a atributos visuales y de sabor, probablemente por la reducción en la intensidad del color rojo y cambios en el perfil organoléptico asociados a la mayor concentración de fibra y compuestos fenólicos.

En cuanto a la preferencia, se mostró que la formulación MXJ (2 % de fibra) fue la más aceptada por los panelistas, con 21 jueces que la colocaron en primer lugar y solo 10 que la ubicaron en último lugar. En contraste, la muestra QLP (control) y la formulación DZT (3.5 % de fibra) obtuvieron 14 votos cada una como la más preferida. Sin embargo, DZT fue la que recibió la mayor proporción de rechazos (22 en tercer lugar). Esto indica que, aunque la adición de fibra en altas concentraciones (3.5 %) mejora propiedades tecnológicas como consistencia y

untabilidad, su impacto sensorial puede polarizar la aceptación, posiblemente debido a cambios en el color y el sabor percibido.

Las sugerencias cualitativas de los panelistas confirmaron estos hallazgos: la categoría más mencionada fue el color, donde se solicitó un tono más intenso y característico de jitomate, lo cual concuerda con la reducción en la saturación ( $C^*$ ) y en el valor  $a^*$  observada instrumentalmente en las muestras con fibra. Otro grupo de comentarios se centró en la textura y untabilidad, sugiriendo que los aderezos fueran “más espesos” y “más cremosos”; estas observaciones están en línea con los resultados de TPA y reometría, donde DZT mostró la mayor firmeza y viscosidad.

En cuanto al sabor, se identificaron sugerencias de reducir la acidez y suavizar el perfil organoléptico, lo que puede relacionarse con el efecto de la fibra en el pH y con la percepción de un sabor más crudo en el jitomate. Finalmente, aunque se señalaron aspectos de mejora, varios panelistas expresaron comentarios positivos como “en general saben ricos”, lo cual refleja una aceptación global favorable de las tres formulaciones con promedios entre 7.2 y 8.5.



**Figura 5.** Análisis de agrado de los aderezos de jitomate adicionados con fibra de cáscara de aguacate

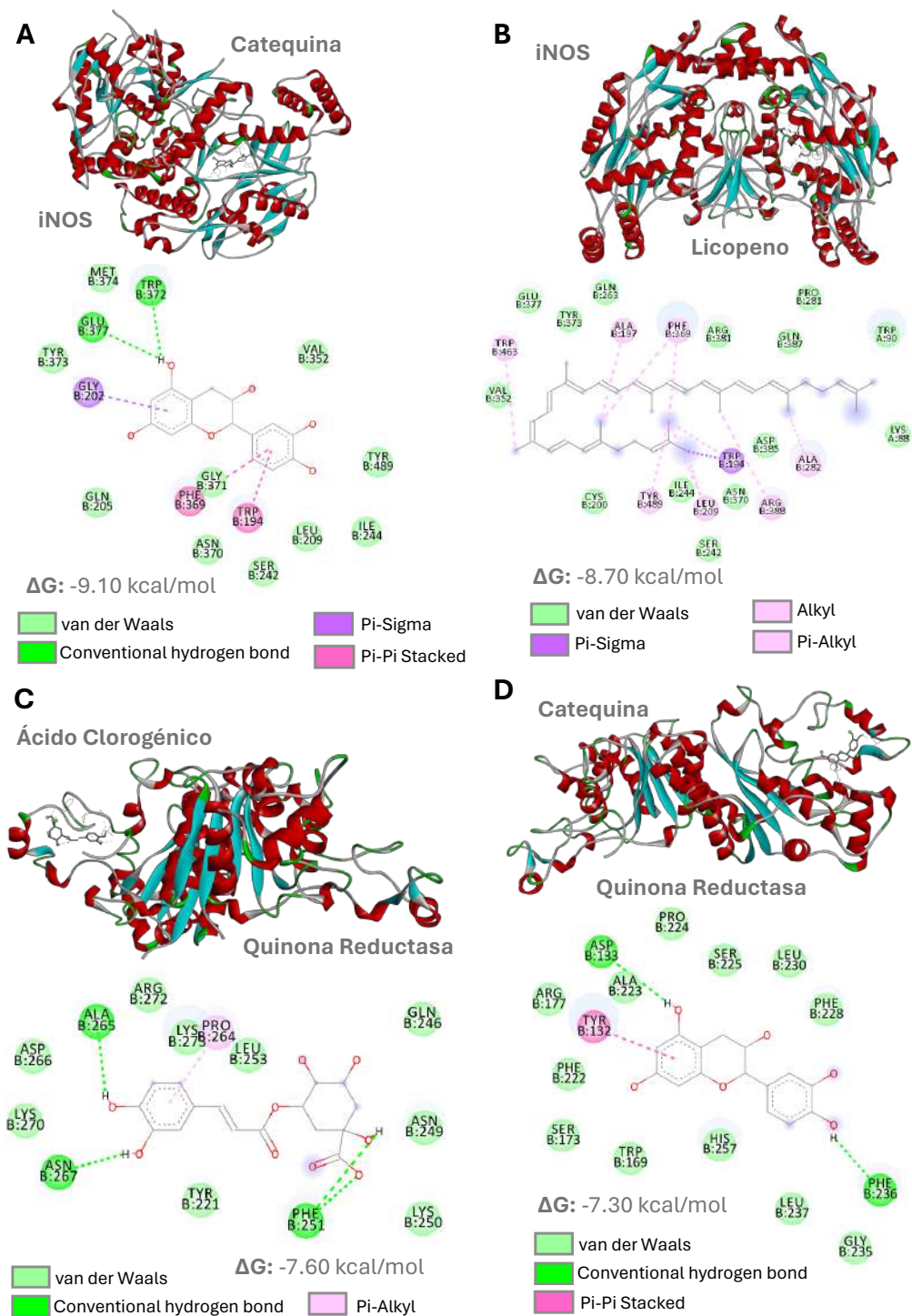
QLP: aderezo control, sin fibra adicionada. MXJ: formulación de aderezo con 2 g de fibra adicionada. DZT: formulación de aderezo con 3.5 g de fibra adicionada

#### **VI.4. Análisis *in silico* de la fibra y compuestos fenólicos**

En las Figuras 6, 7 y 8, se observan los resultados del análisis *in silico* donde los compuestos bioactivos presentes en los aderezos —licopeno, catequina y ácido clorogénico— presentaron una alta afinidad de unión con enzimas clave involucradas en procesos de estrés oxidativo e inflamación, como la catalasa, superóxido dismutasa (SOD), sintasa de óxido nítrico inducible (iNOS), mieloperoxidasa y quinona reductasa. En general, las energías libres de unión negativas ( $\Delta G$  entre -7.3 y -10.4 kcal/mol) y la formación de interacciones moleculares estables (puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y  $\pi$ - $\pi$ ) sugieren que estos compuestos pueden unirse de manera favorable a los sitios activos o regulatorios de estas proteínas blanco.

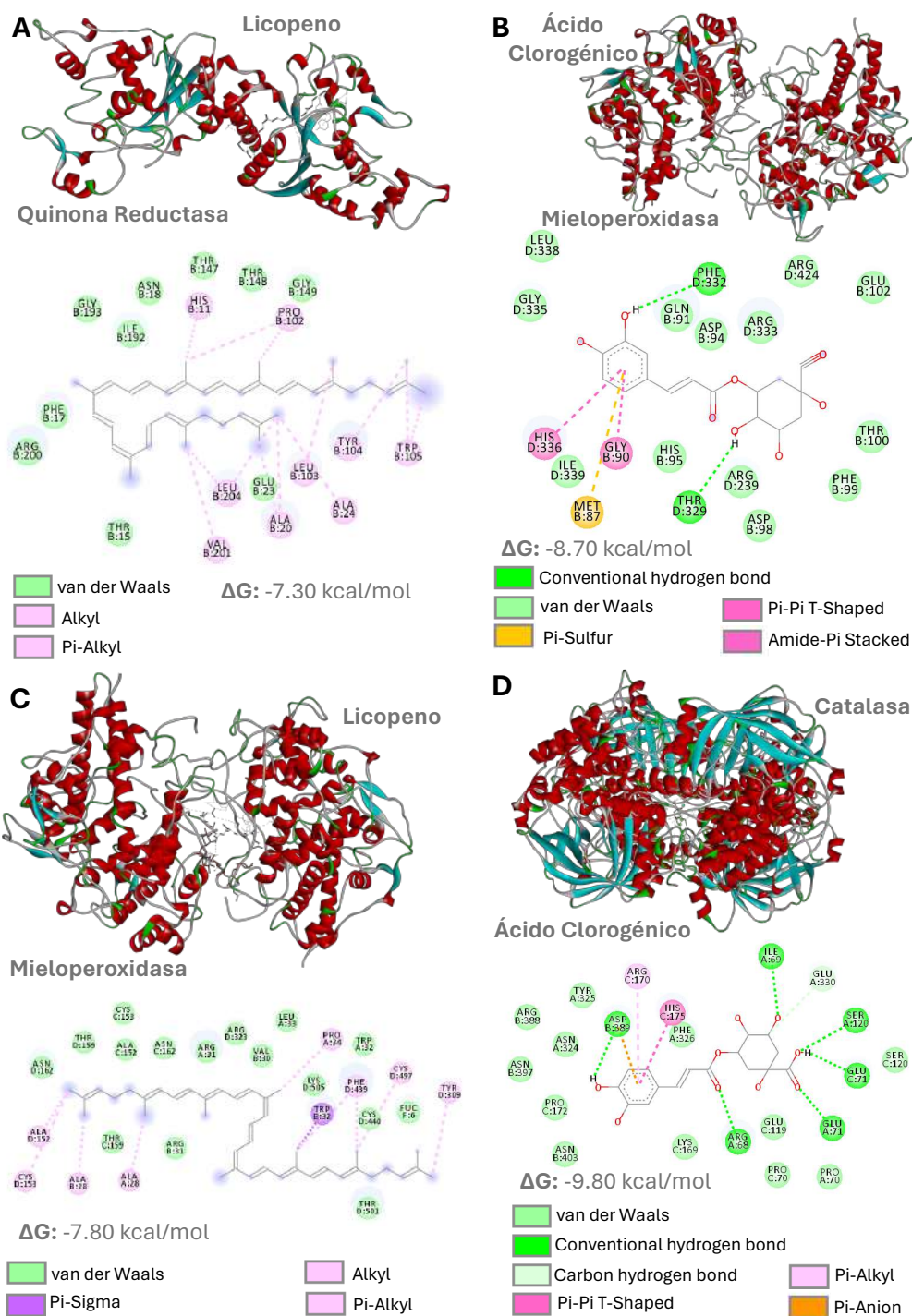
El licopeno ha mostrado, en modelos animales, aumentar significativamente la actividad de SOD y catalasa, reduciendo los niveles de especies reactivas de oxígeno y protegiendo contra el daño oxidativo neuronal (Liu *et al.*, 2013; Yao *et al.*, 2023). De manera similar, el ácido clorogénico ha demostrado potenciar la actividad antioxidante endógena al incrementar la función de catalasa y SOD, además de reducir la producción de óxido nítrico inducida por LPS mediante la modulación de la vía JAK2/STAT3, lo que sugiere un efecto indirecto sobre la actividad de iNOS (Shi *et al.*, 2022; Tajik *et al.*, 2017).

En el caso de la catequina, se ha reportado que reduce la expresión de iNOS y la producción de óxido nítrico (NO) en macrófagos estimulados, confirmando su papel como agente antiinflamatorio (Zhang *et al.*, 2019).



**Figura 6.** Imágenes representativas in silico de las mejores afinidades de unión entre compuestos fenólicos seleccionados de los aderezos contra enzimas clave involucradas en procesos de estrés oxidativo e inflamación.

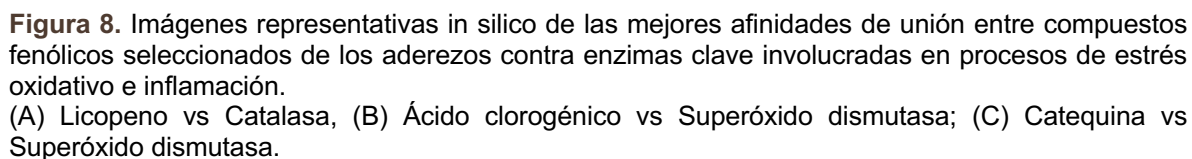
(A) Catequina vs iNOS, (B) Licopeno vs iNOS; (C) Ácido clorogénico vs Quinona reductasa; (D) Catequina vs Quinona reductasa.



**Figura 7.** Imágenes representativas in silico de las mejores afinidades de unión entre compuestos fenólicos seleccionados de los aderezos contra enzimas clave involucradas en procesos de estrés oxidativo e inflamación.

(A) Licopeno vs Quinona Reductasa, (B) Ácido clorogénico vs Mieloperoxidasa; (C) Licopeno vs Mieloperoxidasa; (D) Ácido clorogénico vs Catalasa.







## **VI. Conclusiones**

La adición de fibra dietaria en las formulaciones de aderezos a base de pulpa de jitomate tuvo un efecto positivo tanto en las propiedades fisicoquímicas como en el perfil nutracéutico de los aderezos. La composición proximal mostró que el incremento de fibra disminuyó la humedad y los carbohidratos disponibles y un incremento en la fracción de cenizas, lo cual refleja el aporte de minerales y sólidos propios de este ingrediente. Estos cambios se relacionan directamente con la mejora en la densidad y estructura de la matriz alimentaria.

El aumento de la fibra dietaria total en los aderezos, específicamente de la fracción insoluble, contribuye a una mayor capacidad de retención de agua y a una textura más estable; la fracción soluble también incrementó y podría aportar beneficios potenciales relacionados con la salud gastrointestinal. Sobre el análisis de compuestos bioactivos, este reveló que el licopeno se mantuvo en concentraciones elevadas en todas las muestras, siendo mayor en la formulación con más fibra, lo que sugiere que esta contribuyó a la retención y estabilidad de este carotenoide.

El contenido de compuestos fenólicos totales y taninos condensados también se incrementó en las formulaciones enriquecidas, mientras que los flavonoides permanecieron estables, indicando que la fibra dietaria actúa como un modulador selectivo del perfil fenólico. Estos hallazgos fueron reforzados por los análisis de HPLC-DAD, que mostraron que compuestos como el ácido gálico y el ácido sinápico aumentaron significativamente en la formulación con mayor fibra, mientras que otros, como el ácido clorogénico, permanecieron estables y el ácido hidroxibenzoico se redujo. Esto confirma que la fibra no solo mejora las propiedades tecnológicas del producto, sino que también modula la disponibilidad y estabilidad de metabolitos bioactivos.

La mayor presencia de estos compuestos antioxidantes se reflejó directamente en la capacidad antioxidante medida por los ensayos ABTS, DPPH y FRAP, donde se observó un incremento progresivo desde el control hasta la

formulación más enriquecida, siendo esta última la más efectiva en la neutralización de radicales libres y en el poder reductor.

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas complementarias, se mostró que el pH se mantuvo dentro de rangos de acidez adecuados para garantizar la seguridad microbiológica, aunque se registró un ligero aumento en la formulación con mayor fibra, probablemente asociado a su mayor contenido mineral. En el caso del color, los parámetros de luminosidad se mantuvieron estables, pero se observó una disminución en la intensidad y el matiz rojizo característico del jitomate en las muestras enriquecidas, lo que podría influir en la percepción sensorial sin afectar de forma significativa el valor funcional del producto.

Los análisis reológicos confirmaron que la adición de fibra incrementó de manera clara la consistencia y la viscosidad aparente de las formulaciones, demostrando a la muestra con mayor proporción de fibra dietaria como la de mejor comportamiento textural.

Finalmente, la evaluación sensorial indicó que los productos fueron bien aceptados por los panelistas con promedios de entre 7.8 y 8.5, sin embargo, se sugirieron mejoras en la acidez y la textura, lo que brinda oportunidad para la mejora y optimización en las formulaciones.

Así, los resultados demuestran que la incorporación de fibra dietaria en aderezos de pulpa de jitomate no solo enriquece su perfil nutricional, aumentando la fibra total, los compuestos fenólicos y el licopeno, sino que también potencia su capacidad antioxidante y mejora sus propiedades reológicas, al tiempo que mantiene niveles aceptables de calidad sensorial. La formulación DZT, con 3.5 % de fibra, resultó ser la más completa en términos de valor nutraceutico y tecnologico, lo que evidencia que la fortificación con fibra es una estrategia viable y efectiva para el desarrollo de alimentos funcionales con beneficios para la salud y un mayor valor agregado en el mercado.

## VII. REFERENCIAS

- Agudelo-Ochoa, G. M., Giraldo-Giraldo, N. A., Barrera-Causil, C. J., & Valdés-Duque, B. E. (2016). Microbiota intestinal y ácidos grasos de cadena corta en pacientes críticos. *Perspectivas En Nutrición Humana*. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v18n2a06>
- Ajila, C. M., & Prasada Rao, U. J. S. (2020). Nutritional quality of foods enriched with fruit and vegetable by-products: A review. *Food Research International*, 137, 109709. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109709>
- Akan, S. (2021). Phytochemicals in avocado peel and their potential uses. *Food and Health*, 7(2), 138–149. <https://doi.org/10.3153/fh21015>
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Albuquerque, B. R., Heleno, S. A. 8., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2021). Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. *Food and Function*, 12(1), 14–29, <https://doi.org/10.1039/d0fo02324h>
- Alfonso Bartoli, J. A. (2008). MANUAL TÉCNICO DEL CULTIVO DEL AGUACATE HASS (Persea americana L.) Documento elaborado por el Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Septiembre de 2008. [www.hondurasag.org](http://www.hondurasag.org)
- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2021). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010045>
- Alissa, K., Hung, Y. C., Hou, C. Y., Lim, G. C. W., & Ciou, J. Y. (2020). Developing new health material: The utilization of spray drying technology on avocado (Persea americana Mill.) seed powder. *Foods*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/foods9020139>

- Anand, R., Mohan, L., & Bharadvaja, N. (2022). Disease Prevention and Treatment Using  $\beta$ -Carotene: the Ultimate Provitamin A. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 32(4), 491-501. <https://doi.org/10.1007/s43450-022-00262-w>
- Angladon, M. A., Fossépré, M., Leherter, L., & Vercauteren, D. P. (2019). Interaction of POPC, DPPC, and POPE with the  $\mu$  opioid receptor: A coarse-grained molecular dynamics study. *PLoS ONE*, 14(3), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213646>
- Angulo-López, J. E., Flores-Gallegos, A. C., Ascacio-Valdes, J. A., Contreras Esquivel, J. C., Torres-León, C., Rúelas-Chácon, X., & Aguilar, C. N. (2023). Antioxidant dietary fiber sourced from agroindustrial byproducts and its applications. *Foods*, 12(1), 159. <https://doi.org/10.3390/foods12010159>
- AOAC. (2002). Official methods of analysis of AOAC International. 16th Edition, *Association of Official Analytical*, Washington DC.
- Aprilianto, E., Yuan, A. V. H. S., Pradita, C. D., & Hendra, P. (2019). Anti-inflammatory effects of avocado peels against inflammation induced by carrageenan in mice. *Pharmaciana*, 9(2), 219. <https://doi.org/10.12928/pharmaciana.v9i2.13607>
- Araujo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruíz, H. A., Govea-Salas, M., Pintado, M., & Aguilar, C. N. (2021). Recovery of bioactive components from avocado peels using microwave-assisted extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 127, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.02.015>
- Araujo-Morera, J., Verdejo, R., López-Manchado, M. A., & Hernández Santana, M. (2021). Sustainable mobility: The route of tires through the circular economy model. *Waste Management*, 126, 309–322. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.025>
- Arballo, J., Amengual, J., & Erdman, J. W. (2021). Lycopene: A critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion. *Antioxidants*, 10 (3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/antiox10030342>
- Ares, G., Tárrega, A., & Fiszman, S. (2022). The influence of fiber addition on color and sensory perception in plant-based foods. *Food Research International*, 157, 111437. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111437>

- Baltacıoğlu, H., Baltacıoğlu, C., Okur, I., Tanrıvermiş, A., & Yalıcı, M. (2021). Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. *Vibrational Spectroscopy*, 113, 103204. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103204>
- Barber, T. M., Kabisch, S., Pfeiffer, A. F. H., & Weickert, M. O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12(10), 1–17. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bernal, J. A., Cipriano, E., & Díaz Díez, A. (2020). Capítulo I: Generalidades del Cultivo. En: Bernal-Estrada, J. A., & Díaz-Díez, C. A., Actualización Tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. Recuperado el 24 de junio de 2024 de Editorial Agrosavia: <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/162/142/1115-1>
- Bonilla-De la O, C. V., Hernández-De Benítez, R. G., Navas-Guardado, V. G., Alvarado-Panameño, J. F., & Oviedo-Zelaya, R. (2023). Efecto del ácido acético sobre la microbiota intestinal (*Escherichia coli* y *Lactobacillus* spp.) y parámetros zootécnicos en pollos de engorde. *Agrociencia*, 6(23), 36–43. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10233926>
- Borges, G., Kader, A. A., & Crozier, A. (2022). Assessment of antioxidant capacity of plant-derived foods using ABTS, DPPH and FRAP assays: A comparative study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 109, 104505. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104505>
- Botella, M. Á., Hernández, V., Mestre, T., Hellín, P., García-Legaz, M. F., Rivero, R. M., Martínez, V., Fenoll, J., & Flores, P. (2021). Bioactive compounds of tomato fruit in response to salinity, heat and their combination. *Agriculture*, 11(6), 534. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060534>

- Bruno, E., Lupi, F. R., Mammolenti, D., Mileti, O., Baldino, N., & Gabriele, D. (2022). Emulgels Structured with Dietary Fiber for Food Uses: A Rheological Model. *Foods*, 11(23), 3866. <https://doi.org/10.3390/foods11233866>
- Campos, D. A., Gómez-García, R., Vilas-Boas, A. A., Madureira, A. R., & Pintado, M. M. (2020). Management of fruit industrial by-products—a case study on circular economy approach. *Molecules*, 25(2), 320. <https://doi.org/10.3390/molecules25020320>
- Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B., & Nagpal, A. K. (2018). Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 2833-2849. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3221-z>
- Chen, Q. H., Wu, B. K., Pan, D., Sang, L. X., & Chang, B. (2021a). Beta-carotene and its protective effect on gastric cancer. *World Journal of Clinical Cases*, 9(23), 6591–6607. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v9.i23.6591>
- Chen, Y., Xu, J., & Ding, W. (2021b). Dietary fibers and human health: A review. *Food Hydrocolloids*, 118, 106771. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106771>
- Cheshmehsangi, E., et al. (2025). Tomato (*Solanum lycopersicum*) extract promotes myelin integrity and reduces oxidative stress in cuprizone-induced demyelination. *Scientific Reports*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-18533-6>
- Coelho, M. C., Rodrigues, A. S., Teixeira, J. A., & Pintado, M. E. (2023). Integral valorisation of tomato by-products towards bioactive compounds recovery: Human health benefits. *Food Chemistry*, 410, 135319. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135319>
- Comisión del Codex Alimentarius. (2016). *Agenda Item 7 CX/PFV 16/28/7-Add.1*. Recuperado de [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-713-28%252FWD%252Fpf28\\_07\\_Add1e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-713-28%252FWD%252Fpf28_07_Add1e.pdf)
- Comisión del Codex Alimentarius. (2011a). *Codex Stan 306-2011: Norma regional para la salsa de ají (chiles)*. Recuperado de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh->

[proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-711-55%252FWorking%2Bdocuments%252Ffa55\\_06s.pdf](https://proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-711-55%252FWorking%2Bdocuments%252Ffa55_06s.pdf)

Comisión del Codex Alimentarius. (2011b). *Codex Stan 192-1995: Norma general para los aditivos alimentarios*. Recuperado de [https://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS\\_192s.pdf](https://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf)

Comisión del Codex Alimentarius. (2023). *General Standard for Food Additives (Codex Stan 192-1995)*. Recuperado de [https://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS\\_192e.pdf](https://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192e.pdf)

Comisión Internacional de Iluminación. (2004). *Colorimetry*. 3rd edition. Commission Internationale de l'Eclairage.

Cruz-López, D. F., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G., & Salgado, J. R. (2022). Competitiveness of Mexico's Hass avocado exports in the world market. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 13(2).

da Rosa, L. A. B., Cohen, M., Campos, W. y. y. Z., Ávila, L. V., & Rodrigues, M. C. M. (2023). Circular economy and sustainable development goals: main research trends. *Revista de Administração Da UFSM*, 16(1), e9. <https://doi.org/10.5902/1983465971448>

da Silva, G. G., Pimenta, L. P. S., Melo, J. O. F., Mendonça, H. de O. P., Augusti, R., & Takahashi, J. A. (2022). Phytochemicals of avocado residues as potential acetylcholinesterase inhibitors, antioxidants, and neuroprotective agents. *Molecules*, 27(6), 1892. <https://doi.org/10.3390/molecules27061892>

Dávila, J. A., Rosenberg, M., Castro, E., & Cardona, C. A. (2017). A model biorefinery for avocado (Persea americana Mill.) processing. *Bioresource Technology*, 243, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.063>

Da Vinha Ana, F., Silva, C. S. E., De Oliveira Soares, M., & Barreira, S. (2020). *Avocado and its by-products: natural sources of nutrients, phytochemical compounds and functional properties*. <https://bdigital.ufp.pt/entities/publication/84faab1b-c03a-43ce-96cc-6ae322018400>

- Del Castillo-Llamosas, A., Rodríguez-Martínez, B., Del Río, P. G., Eibes, G., Garrote, G., & Gullón, B. (2021). Hydrothermal treatment of avocado peel waste for the simultaneous recovery of oligosaccharides and antioxidant phenolics. *Bioresource Technology*, 342, 125981. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125981>
- Del Rio Osorio, L. L., Flórez-López, E., & Grande-Tovar, C. D. (2021). The potential of selected agri-food loss and waste to contribute to a circular economy: Applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Molecules*, 26(2), 515. <https://doi.org/10.3390/molecules26020515>
- Devi, S. R., Kumari, T., & Deka, S. C. (2023). Extraction of dietary fiber and phytochemicals from bottle gourd seeds (*Lagenaria siceraria*), its physicochemical properties and application in food model. *Food Chemistry Advances*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100252>
- Dewanto, V., et al. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3010–3014. <https://doi.org/10.1021/jf0115589>
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2020). Dietary fibre in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3623–3636. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04477-6>
- Dong, W., Wang, D., Hu, R., Long, Y., & Lv, L. (2020). Chemical composition, structural and functional properties of soluble dietary fiber obtained from coffee peel using different extraction methods. *Food Research International*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109497>
- Dreher, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass Avocado Composition and Potential Health Effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738–750. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>
- Díez, M. J., & Nuez, F. (2008). *Tomato*. En I. Rajcan & J. Vollmann (Eds.), *Handbook of Plant Breeding*, ISSN 2363-8478, Springer.
- FAOLEX. (2011a). *Reglamento sobre el etiquetado de alimentos preenvasados*. Recuperado de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/fij110379.pdf>



- FAOLEX. (2011b). *Reglamento sobre la seguridad alimentaria*. Recuperado de [https://faolex.fao.org/docs/pdf/mal27305\\_original.pdf](https://faolex.fao.org/docs/pdf/mal27305_original.pdf)
- Feregrino-Pérez, A. A., Berumen, L. C., García-Alcocer, G., Guevara-Gonzalez, R. G., Ramos-Gomez, M., Reynoso-Camacho, R., Acosta-Gallegos, J. A., & Loarca-Piña, G. (2008). Composition and chemopreventive effect of polysaccharides from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) on azoxymethane-induced colon cancer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8737-8744. <https://doi.org/10.1021/jf8007162>
- Fernández-García, L., Sánchez-Moreno, C., & de Ancos, B. (2021). Impact of dietary fiber and antioxidants on the stability of color in plant-based foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2895–2903. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10934>
- Ferrando, B. O., Baenas, N., Rincón, F., & Periago, M. J. (2024). Green extraction of carotenoids from tomato by-products using sodium dodecyl sulphate. *Food and Bioprocess Technology*, 17(10), 3017-3030. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03292-x>
- Ferreira, S. M., Falé, Z., & Santos, L. (2022). Sustainability in skin care: Incorporation of avocado peel extracts in topical formulations. *Molecules*, 27(6), 1782. <https://doi.org/10.3390/molecules27061782>
- Figueroa, J. G., Borrás-Linares, I., Del Pino-García, R., Curiel, J. A., Lozano-Sánchez, J., & Segura-Carretero, A. (2021). Functional ingredient from avocado peel: Microwave-assisted extraction, characterization and potential applications for the food industry. *Food Chemistry*, 352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129300>
- FIRA (2024). Panorama Agroalimentario 2024. Aguacate. Recuperado 08 octubre 2025 de [www.fira.gob.mx](http://www.fira.gob.mx)
- Flores, G., Wu, S. B., & Negrin, A. (2021). Correlation between phenolic content and antioxidant capacity in food matrices. *Antioxidants*, 10(9), 1427. <https://doi.org/10.3390/antiox10091427>

- Fukumoto, L. R., & Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3597–3604. <https://doi.org/10.1021/jf000220w>
- Gao, Y., Han, X., Zhang, X., & Li, L. (2022). The structural and functional characteristics of soluble dietary fibers modified from tomato pomace with increased content of lycopene. *Food Chemistry*, 368, 130876. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130876>
- García, P. Y. E., Balza, T. M. A., Banda, G. Y. M., & Lugo, M. K. M. (2019). Diseño, análisis sensorial y caracterización físico-química de un dip de berenjena ahumada (*Solanum melongena* L.). *GIMAPA*, 1(1).
- García-Casal, M. N., Peña-Rosas, J. P., & Malavé, H. G. (2016). Sauces, spices, and condiments: definitions, potential benefits, consumption patterns, and global markets. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1379(1), 3–16. <https://doi.org/10.1111/nyas.13045>
- García-Hernández, J., Salazar-López, N. J., & Vázquez-Rodríguez, B. (2021). Influence of formulation on pH, color, and sensory properties of tomato-based sauces enriched with functional ingredients. *Journal of Food Quality*, 2021, 8852139. <https://doi.org/10.1155/2021/8852139>
- García-Vargas, M. C., Contreras, M. del M., Gómez-Cruz, I., Romero-García, J. M., & Castro, E. (2021). Avocado-Derived Biomass: Chemical Composition and Antioxidant Potential. *Proceedings*, 70(1), 100. [https://doi.org/10.3390/foods\\_2020-07750](https://doi.org/10.3390/foods_2020-07750)
- Gaur, V. K., Sharma, P., Sirohi, R., Awasthi, M. K., Dussap, C. G., & Pandey, A. (2020). Assessing the impact of industrial waste on environment and mitigation strategies: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 398. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123019>
- Georgaki, E., et al. (2024). Exploring the efficacy and feasibility of tomato by-products as functional ingredients. *Food Research International*, 142, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110118>

- Georganas, A., Giamouri, E., Pappas, A. C., Zoidis, E., Goliomytis, M., & Simitzis, P. (2023). Utilization of agro-Industrial by-products for sustainable poultry Production. *Sustainability*, 15(4), 3679. <https://doi.org/10.3390/su15043679>
- Godínez-Oviedo, A., Cuellar-Nuñez, M. L., Luzardo-Ocampo, I., Campos-Vega, R., & Hernández-Iturriaga, M. (2021). A dynamic and integrated in vitro/ex vivo gastrointestinal model for the evaluation of the probability and severity of infection in humans by Salmonella spp. vehiculated in different matrices. *Food Microbiology*, 95, 103671. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103671>
- Guan, Z. W., Yu, E. Z., & Feng, Q. (2021). Soluble dietary fiber, one of the most important nutrients for the gut microbiota. *Molecules*, 26(2), Issue 22). MDPI. 6802. <https://doi.org/10.3390/molecules26226802>
- Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., & Pintado, M. (2021). Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 299, 113571. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113571>
- He, Y., Wang, B., Wen, L., Yu, H., Chen, D., Su, X., & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>
- Hernández-Alonso, P., Camacho-Barcia, L., & Bulló, M. (2021). Fiber and satiety: Clinical evidence and mechanisms. *Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 24(6), 543–549. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000781>
- Herrera-Cazares, L. A., Luzardo-Ocampo, I., Ramírez-Jiménez, A. K., Gutiérrez-Urbe, J. A., Campos-Vega, R., & Gaytán-Martínez, M. (2021). Influence of the extrusion process on the release of phenolic compounds from mango (*Mangifera indica* L.) bagasse-added confections and evaluation of their bioaccessibility, intestinal permeability, and antioxidant capacity. *Food Research International*, 148, 110591. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110591>
- Imran, M., Ghorat, F., Ul-haq, I., Ur-rehman, H., Aslam, F., Heydari, M., Shariati, M. A., Okuskhanova, E., Yessimbekov, Z., Thiruvengadam, M., Hashempur, M. H., &

- Rebezov, M. (2020). Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. *Antioxidants*, 9(8), 1-27. <https://doi.org/10.3390/antiox9080706>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass. (Persea americana Mill.) Medidas para la temporada invernal. [www.ica.gov.co](http://www.ica.gov.co)
- Jimenez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., Garcia-Diaz, D. F., Robert, P., Encina, C., & Soto-Covasich, J. (2021). Pulp, leaf, peel and seed of avocado fruit: a review of bioactive compounds and healthy benefits. *Food Reviews International*, 37(6), 619-655. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717520>
- Jose, M., Himashree, P., Sengar, A. S., & Sunil, C. K. (2022). Valorization of food industry by-product (Pineapple pomace): A study to evaluate its effect on physicochemical and textural properties of developed cookies. *Measurement: Food*, 6, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.meafao.2022.100031>
- Kamaraj, M., Kumar, V. D. R., Nithya, T. G., & Danya, U. (2019). Assessment of Antioxidant, antibacterial activity and phytoactive compounds of aqueous extracts of avocado fruit peel from Ethiopia. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 26(3), 1549-1557. <https://doi.org/10.1007/s10989-019-09965-6>
- Kamiloglu, S., Ozdal, T., & Capanoglu, E. (2022). Interactions between dietary fibers and polyphenols: Impacts on bioaccessibility and bioactivity. *Food & Function*, 13(2), 391–406. <https://doi.org/10.1039/D1FO03234A>
- Kaur, P., Sogi, D. S., & Singh, J. (2020). Color stability of tomato-based products: Role of processing and matrix interactions. *LWT*, 127, 109354. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109354>
- Knapp, S., & Peralta, I. E. (2016). The Tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) and Its Botanical Relatives (pp. 7–21). [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53389-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53389-5_2)

- Knockaert, G., De Clercq, N., & Hendrickx, M. (2021). Lycopene stability and matrix interactions: Impact of processing. *Food Chemistry*, 336, 127722. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127722>
- Kumar, A., Kumar, V., Gull, A., & Nayik, G. A. (2020). *Tomato (Solanum lycopersicon). In Antioxidants in Vegetables and Nuts - Properties and Health Benefits* (pp. 1–572). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-7470-2>
- Kumar, M., Tomar, M., Bhuyan, D. J., Punia, S., Grasso, S., Sá, A. G. A., Carciofi, B. A. M., Arrutia, F., Changan, S., Radha, Singh, S., Dhumal, S., Senapathy, M., Satankar, V., Anitha, T., Sharma, A., Pandiselvam, R., Amarowicz, R., & Mekhemar, M. (2021). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seed: A review on bioactives and biomedical activities. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 142, 112018. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112018>
- Kumar, M., Chandran, D., Tomar, M., Bhuyan, D. J., Grasso, S., Sá, A. G. A., Carciofi, B. A. M., Radha, N., Dhumal, S., Singh, S., Senapathy, M., Changan, S., Dey, A., Pandiselvam, R., Mahato, D. K., Amarowicz, R., Rajalingam, S., Vishvanathan, M., Saleena, L. A. K., & Mekhemar, M. (2022). Valorization Potential of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Seed: Nutraceutical Quality, Food Properties, Safety Aspects, and Application as a Health-Promoting Ingredient in Foods. *Horticulturae*, 8(3), 265. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030265>
- Kurina, A. B., Solovieva, A. E., Khrapalova, I. A., & Artemyeva, A. M. (2021). Biochemical composition of tomato fruits of various colors. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii*, 25(5), 514–527. <https://doi.org/10.18699/VJ21.058>
- Lafarga, T., Villaró, S., Bobo, G., & Aguiló-Aguayo, I. (2020). Effect of dietary fiber addition on physicochemical, sensory, and nutritional properties of plant-based foods. *Foods*, 9(5), 638. <https://doi.org/10.3390/foods9050638>
- Laranjeira, T., Costa, A., Faria-Silva, C., Ribeiro, D., Ferreira de Oliveira, J. M. P., Simões, S., & Ascenso, A. (2022). Sustainable valorization of tomato by-products to obtain bioactive compounds: their potential in inflammation and cancer

- management. *Molecules*, 27(5), 1701. <https://doi.org/10.3390/molecules27051701>
- Lemes, A. C., Egea, M. B., Oliveira Filho, J. G. de, Gautério, G. V., Ribeiro, B. D., & Coelho, M. A. Z. (2022). Biological approaches for extraction of bioactive compounds from agro-industrial by-products: a review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.802543>
- Liu, C., Zhong, Q., Chen, Y., Chen, X., He, T., & Chen, W. (2013). Lycopene supplementation attenuates oxidative stress and cognitive impairment in rotenone-induced Parkinson's disease in rats. *Neuroscience Letters*, 548, 55–59. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2013.04.050>
- López Bermúdez, Y. N., et al. (2022). Valorization strategies for a by-product of organic tomato processing: Tomato peel. *Frontiers in Food Science and Technology*, 2, 893795. <https://doi.org/10.3389/frfst.2022.893795>
- López, M. L. X. (2021). FRUTAS TROPICALES Y SUS SUBPRODUCTOS: FUENTES DE FIBRA DIETARIA EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS. *EPISTEMUS*, 14(29). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v14i29.149>
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>
- Marcelino, G., Machate, D. J., Freitas, K. de C., Hiane, P. A., Maldonade, I. R., Pott, A., Asato, M. A., Candido, C. J., & Guimarães, R. de C. A. (2020).  $\beta$ -Carotene: preventive role for type 2 diabetes mellitus and obesity: A review. *Molecules*, 25(24), 5803. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25245803>
- Martínez, M. M. J. (2009). FORMULACIÓN DE UN ADEREZO A BASE DE TOMATE Y ACEITE DE OLIVA, EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA, SENSORIAL Y LICOPENO PRESENTE. Universidad Veracruzana.
- Martínez-Huélamo, M., Rodríguez-Rodríguez, R., & Vallverdú-Queralt, A. (2020). Interaction of dietary polyphenols with the food matrix. *Food Science & Technology*, 99, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.020>
- Matiacevich, S., Madrid, D. S., & Cutiño, M. G. (2023). Circular economy: obtaining and encapsulating polyphenolic compounds from agroindustrial waste. *Revista*

- Iberoamericana de Viticultura Agroindustria y Ruralidad*, 10(28), 77–100.  
<https://doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5343>
- Medina-Meza, I. G., Al-Dalali, S., & García-Segovia, P. (2020). Food matrix and pigment interactions: Implications for color and nutritional quality. *Food Science and Nutrition*, 60(18), 3083–3095. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1679714>
- Meilgaard, M. C., Carr, B. T., & Carr, B. T. (2006). *Sensory evaluation techniques*. CRC Press eBooks. <https://doi.org/10.1201/b16452>
- Mele, B. H., et al. (2025). Harnessing light wavelengths to enrich health-promoting compounds in tomato. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1519905. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1519905>
- Menéndez Gámez, C. R., Quiroga Canaviri, J. L., Becerra Guzmán, F. de J., Ramírez Hernández, B. C., & Zúñiga González, C. A. (Coords.). (2025). *Bioeconomía en Latinoamérica: desafíos para la sostenibilidad y el desarrollo. Volumen 3. Mentefactura bioeconómica*. Universidad de Guadalajara.
- Mirahmadi, M., Azimi-Hashemi, S., Saburi, E., Kamali, H., Pishbin, M., & Hadizadeh, F. (2020). Potential inhibitory effect of lycopene on prostate cancer. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 129, 110459. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110459>
- Mitra, S., Rauf, A., Tareq, A. M., Jahan, S., Emran, T. Bin, Shahriar, T. G., Dhama, K., Alhumaydhi, F. A., Aljohani, A. S. M., Rebezov, M., Uddin, M. S., Jeandet, P., Shah, Z. A., Shariati, M. A., & Rengasamy, K. R. (2021). Potential health benefits of carotenoid lutein: An updated review. *Food and Chemical Toxicology*, 154, 112328. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112328>
- Mrowicka, M., Mrowicki, J., Kucharska, E., & Majsterek, I. (2022). Lutein and Zeaxanthin and their roles in age-related macular degeneration—neurodegenerative disease. *Nutrients*, 14(4), 827. <https://doi.org/10.3390/nu14040827>
- Naczek, M., & Shahidi, F. (2020). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 87, 103389. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103389>

- Namir, M., Siliha, H., & Ramadan, M. F. (2015). Fiber pectin from tomato pomace: characteristics, functional properties and application in low-fat beef burger. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(3), 305–312. <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9236-5>
- Navarro-González, I., & Periago, M. J. (2016). Is tomato a healthy and/or functional food? *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 20(4), 323–335. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.4.208>
- Navarro-González, I., et al. (2022). Characterization of tomato peel as a source of dietary fiber. *Food Science and Technology*, 42(3), 1–8. <https://doi.org/10.1590/fst.2022.e12922>
- Nićiforović, N., & Abramović, H. (2020). Sinapic acid and its derivatives: Natural sources and biological activities. *Food Science and Food Safety*, 19(1), 123–147. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12506>
- Oomah, B. D., 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. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2019>
- Pandya, D., Akbari, S., Bhatt, H. & Joshi, D.C. (2017). Standardization of Solvent Extraction Process for Lycopene Extraction from Tomato Pomace. *Journal Of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 2(1). <https://doi.org/10.15406/jabb.2017.02.00019>
- Preciado-Saldaña, A., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M., Dominguez-Avila, A., & Gonzáles-Aguilar, G. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2). ISSN: 1665-0204.
- Ramírez-Flores, I., Vásquez-Murrieta, M. S., Franco-Hernández, M. O., Márquez-Herrera, C. E., Ponce-Mendoza, A., & del Socorro López-Cortéz, M. (2021). Bioactive compounds in tomato (*Solanum lycopersicum*) variety saladette and their relationship with soil mineral content. *Food Chemistry*, 344. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128608>



- Ray, S., Saha, R., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). Different quality characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum*) as a fortifying ingredient in food products: a review. *Technical Sciences*, 19(3).
- Rațu, R. N., Veleșcu, I. D., Stoica, F., Usturoi, A., Arsenoaia, V. N., Crivei, I. C., Postolache, A. N., Lipșa, F. D., Filipov, F., Florea, A. M., Chițea, M. A., & Brumă, I. S. (2023). Application of Agri-Food By-Products in the Food Industry. *Agriculture*, 13(8), 1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081559>
- Rodríguez, O. N. L., & Parra, H. L. S. (2021). DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE GALLETAS FUNCIONALES A PARTIR DE HARINA DE SEMILLA DE AGUACATE. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/54344>
- Rodríguez-Rodríguez, E., Aparicio, A., Bermejo, L. L. M., Ortega, R. M., & López-Sobaler, A. M. (2021). Implicación de los componentes antioxidantes del huevo en la protección macular y la mejora de la visión. *Nutrición Hospitalaria*, 38, 9–12. <https://doi.org/10.20960/nh.3789>
- Rosa-Martínez, E., García-Martínez, M. D., Adalid-Martínez, A. M., Pereira-Dias, L., Casanova, C., Soler, E., Figàs, M. R., Raigón, M. D., Plazas, M., Soler, S., & Prohens, J. (2021). Fruit composition profile of pepper, tomato and eggplant varieties grown under uniform conditions. *Food Research International*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110531>
- SADER. (2024a). Escenario mensual de productos agroalimentarios. Aguacate. Recuperado 08 de octubre de 2025 de [www.gob.mx/siap](http://www.gob.mx/siap)
- SADER. (2024b). Escenario mensual de productos agroalimentarios. Tomate rojo (Jitomate). Recuperado 08 de octubre de 2025 de [www.gob.mx/siap](http://www.gob.mx/siap)
- SADER (2024c) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Panorama Agroalimentario 2018-2024. Recuperado el 08 octubre de 2025 de [www.gob.mx/siap](http://www.gob.mx/siap)
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional. Jitomate mexicano. Recuperado 15 de marzo de 2024 de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>

- Saini, R. K., Khan, M. I., Kumar, V., Shang, X., Lee, J., & Ko, E. (2025). Bioactive Compounds of Agro-Industrial By-Products: Current Trends, Recovery, and Possible Utilization. *Antioxidants*, 14(6), 650. <https://doi.org/10.3390/antiox14060650>
- Salgado, L. L. (2024). Caracterización de la fibra de cáscara de aguacate (Persea americana Mill.) “Hass” y su aplicación como ingrediente nutraceutico en la elaboración de “hot cakes” libres de gluten. Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/11257>
- Salgado-León, L., Perucini-Avendaño, M., Sánchez-Quezada, V., & Loarca-Piña, G. (2025). Phytochemical and Techno-Functional Characterization of Dietary Fiber from ‘Hass’ Avocado Peel Obtained by Alkaline and Ultrasound-Assisted Extraction for Functional Application. *Plant Foods For Human Nutrition*, 80(3), 149. <https://doi.org/10.1007/s11130-025-01389-6>
- Salmerón-Ruiz, M. L. (2014). Fracción indigestible, bioaccesibilidad *in vitro* y actividad antioxidante de compuestos fenólicos de la cáscara de aguacate cv. “Hass”. Centro de Investigación y Desarrollo, A.C. (CIAD).
- Sánchez-Quezada, V., Campos-Vega, R., & Loarca-Piña, G. (2021). Prediction of the Physicochemical and Nutraceutical Characteristics of ‘Hass’ Avocado Seeds by Correlating the Physicochemical Avocado Fruit Properties According to Their Ripening State. *Plant Foods For Human Nutrition*, 76(3), 311-318. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00900-z>
- Sánchez-Quezada, V., Gaytán-Martínez, M., Recio, I., & Loarca-Piña, G. (2023). Avocado seed by-product uses in emulsion-type ingredients with nutraceutical value: Stability, cytotoxicity, nutraceutical properties, and assessment of *in vitro* oral-gastric digestion. *Food Chemistry*, 421, 136118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136118>
- Santana-Gálvez, J., Cisneros-Zevallos, L., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2021). Chlorogenic acid: Recent advances on its dual role as a food additive and a nutraceutical against metabolic syndrome. *Molecules*, 26(3), 711. <https://doi.org/10.3390/molecules26030711>

- Scott, E., De Paepe, K., & Van de Wiele, T. (2022). Postbiotics and their health modulatory biomolecules. *Biomolecules*, 12(11), 1640. <https://doi.org/10.3390/biom12111640>
- Setyawan, H. Y., Sukardi, S., & Puriwangi, C. A. (2021). Phytochemicals properties of avocado seed: A review. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 733(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012090>
- Shah, K., Modi, B., Lamsal, B., Shrestha, J., & Aryal, S. (2020). Bioactive compounds in tomato and their roles in disease prevention. *Fundamental and Applied Agriculture*, 0, 1. <https://doi.org/10.5455/faa.136276>
- Shen, Y., Song, H., & Guo, D. (2022). Lycopene and its role in oxidative stress and chronic diseases: A review. *Nutrients*, 14(4), 793. <https://doi.org/10.3390/nu14040793>
- Shi, H., Chen, G., & Zhang, Y. (2022). Chlorogenic acid: A review of its pharmacology, pharmacokinetics, and role in reducing oxidative stress and inflammation. *Phytotherapy Research*, 36(1), 35–55. <https://doi.org/10.1002/ptr.7292>
- Shiga, K., Hara, H., Okano, G., & Aoyama, Y. (2003). Nutrient metabolism ingestion of water-soluble soybean fiber prevents gastrectomy-induced iron malabsorption, anemia and impairment of voluntary running exercise performance in rats. *Journal of Nutrition*, 133(4), 1120-1126. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1120>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology on CD-ROM/Methods in enzymology* (pp. 152–178).
- Slavin, J. L., Savarino, V., Paredes-Diaz, A., & Fotopoulos, G. (2009). A review of the role of soluble fiber in health with specific reference to wheat dextrin. *Journal of International Medical Research* (Vol. 37, Issue 1, pp. 1–17). <https://doi.org/10.1177/147323000903700101>
- Solagne, E. V. G. (2023). DESARROLLO DE UNA SALSA VEGANA TIPO DIP CON SABOR A QUESO EMPLEANDO EL AQUAFABA DE GARBANZO (*Cicer arietinum*) COMO ESPESANTE. Universidad Agraria del Ecuador.

- Sun, T., Rao, S., Zhou, X., & Li, L. (2022). Plant carotenoids: recent advances and future perspectives. *Molecular Horticulture* (Vol. 2, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s43897-022-00023-2>
- Szabo, K., Vasile Dulf, F., Oke Teleky, B.-E. ", Eleni, P., Boukouvalas, C., Krokida, M., Kapsalis, N., Rusu, A. V., Socol, C. T., & Cristian Vodnar, D. (2021). Evaluation of the Bioactive Compounds Found in Tomato Seed Oil and Tomato Peels Influenced by Industrial Heat Treatments. *Foods*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010110>
- Tajik, N., Tajik, M., Mack, I., & Enck, P. (2017). The potential effects of chlorogenic acid, the main phenolic components in coffee, on health: A comprehensive review of the literature. *European Journal of Nutrition*, 56(7), 2215–2244. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1379-1>
- Tremocoldi, M. A., Rosalen, P. L., Franchin, M., Massarioli, A. P., Denny, C., Daiuto, É. R., Paschoal, J. A. R., Melo, P. S., & De Alencar, S. M. (2018). Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. *PLoS ONE*, 13(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192577>
- Trujillo-Mayol, I., M Madalena C, S. M. C., Viegas, O., Cunha, S. C., Alarcón-Enos, J., Pinho, O., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2021). Incorporation of avocado peel extract to reduce cooking-induced hazards in beef and soy burgers: A clean label ingredient. *Food Research International*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110434>
- Vargas-Solórzano, J. W., Hernández, H. J., & Ramírez, C. (2022). Effect of dietary fiber addition on proximate composition and physicochemical properties of food matrices. *LWT*, 154, 112598. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112598>
- Vázquez-Mata, N., Acosta-Camacho, P., Camacho-Parra, E., Rocha-Mendoza, D., & Israel, G. C. (2022). Aprovechamiento de Subproductos y Residuos Generados en la Central de Abastos de la Ciudad de México. *Biotecnología y Sustentabilidad*, 7(1). <https://doi.org/10.57737/biotecnologiaysust.v7i1.1638>
- Velderrain-Rodríguez, G. R., Quero, J., Osada, J., Martín-Belloso, O., & Rodríguez-Yoldi, M. J. (2021). Phenolic-rich extracts from avocado fruit residues as

- functional food ingredients with antioxidant and antiproliferative properties. *Biomolecules*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/biom11070977>
- Velásquez-Jiménez, D., Luzardo-Ocampo, I., Gaytán-Martínez, M., & Campos-Vega, R. (2023). Design and characterization of a solid-state fermented cacao pods and husk-based functional ingredient to potentially modulate circadian rhythm-associated proteins. *Food Bioscience*, 56, 103199. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103199>
- Williams, A. R., Rodríguez, A. E. M., Arce, V. M., Gómez, M. M. R., & Cabrera, L. E. P. (2016). ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ADEREZO A BASE DE MANGO. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 321–326.
- Wu, X., Yu, L., & Pehrsson, P. R. (2021). Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. *Advances In Nutrition*, 13(1), 138-151. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab109>
- Yao, L., Li, Y., Ding, J., Wang, J., & Xu, J. (2023). Lycopene and oxidative stress: Mechanisms and applications in human health and disease. *Antioxidants*, 12(3), 612. <https://doi.org/10.3390/antiox12030612>
- Yahia, E., González-Aguilar, G. A., Ornelas-Paz, J. d. J., & Luzardo-Ocampo, I. (2025). Identification and characterization of phytochemicals in avocado (*Persea americana* Mill, var. Hass) fruit at different maturation and ripening stages. *Journal of Food Quality*, 2025, 718926. <https://doi.org/10.1155/jfq/7181926>
- Yu, Q., Qin, X., Zheng, B., & Xie, M. (2025). Dietary fiber in food industry: extraction, preparation and component interaction. *Agricultural Products Processing And Storage*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44462-025-00029-1>
- Zaldivar-Ortega, A. K., Barrera-Jiménez, J. A., De Jesús Cenobio-Galindo, A., Pérez-Soto, E., Franco-Fernández, M. J., & Campos-Montiel, R. G. (2023). Potencial uso de la cáscara y semilla de aguacate como fuente de compuestos bioactivos

- con actividades funcionales para un desarrollo sustentable. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 9(18), 30-33. <https://doi.org/10.29057/icap.v9i18.9058>
- Zepeda-Ruiz, G. C., Domínguez-Avila, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Robles-Sánchez, M., Salazar-López, N. J., López-Díaz, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2020). Supplementing corn chips with mango cv. “Ataulfo” peel improves their sensory acceptability and phenolic profile, and decreases in vitro dialyzed glucose. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14954>
- Zitácuaro, L. A. P., Manzanilla, E. L. H., Reyes, A. A., & Sánchez, M. M. (2025). Transformando subproductos agroindustriales en materiales innovadores: el caso de la industria vitivinícola. *EPISTEMUS*, 19(38), e3808402. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i38.402>
- Zhang, L., Zhao, X., & Wang, L. (2021). Tannins in food and health: Review of recent progress. *Food Science & Human Wellness*, 10(2), 257–265. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.02.008>
- Zhang, Y., Li, Y., Wang, S., Han, L., & He, J. (2019). Epigallocatechin gallate inhibits iNOS and COX-2 expression in LPS-stimulated RAW264.7 macrophages via NF- $\kappa$ B pathway. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 41(2), 250–256. <https://doi.org/10.1080/08923973.2019.1577240>
- Zhang, X., et al. (2024). Protective effect of tomato pomace extract encapsulated in nanocarriers against gastrointestinal inflammation. *Scientific Reports*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52642-y>
- Zhu, F., Du, B., & Zheng, L. (2020). Dietary fiber and gut microbiota: Effects and mechanisms. *Food Science and Nutrition*, 60(10), 1572–1589. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1578186>
- Zia-Ul-Haq, M., Dewanjee, S., & Riaz, M. (2021). Carotenoids: Structure and Function in the Human Body. In Carotenoids: Structure and Function in the Human Body. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46459-2>

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Cartel de invitación a la participación en la evaluación sensorial



 **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO** 

**Se extiende la cordial invitación a participar en el estudio de investigación de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos:**

**“Desarrollo y caracterización química de un aderezo de jitomate (*Solanum lycopersium*) adicionado de fibra antioxidante de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. ‘Hass’.”**

**La actividad consiste en la evaluación sensorial de muestras de aderezo a base de jitomate adicionado con fibra de cáscara de aguacate.**

**Requisitos de participación:**

- Género indistinto.
- Mayores de 18 años.
- Ser consumidor frecuente de aderezos, salsas, ‘dips’
- No encontrarse en tratamiento médico.
- No tener enfermedades que afecten su percepción del sabor.
- No estar embarazada.

 **Laboratorio de Análisis Sensorial (CAIDEP)**  
**22 de mayo 2025 de 9:00 - 14:00**

**Contacto para cualquier duda o aclaración:**  
**Paola Burgos // 8712338425 // burgosm98@hotmail.com**

## **Anexo 2.** Consentimiento informado.

**Título del proyecto:** “Desarrollo y caracterización química de un aderezo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado con fibra antioxidante de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. ‘Hass’)”

**Investigador principal:** Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

**Investigador asistente:** I.B.N. Paola Leticia Burgos Martínez

### **Introducción**

En el presente estudio se busca evaluar el nivel de aceptación y agrado de distintas muestras de aderezo elaborado a base de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado con fibra obtenida a partir de la cáscara del aguacate (*Persea americana* Mill cv. ‘Hass’). Las muestras que usted probará contienen los siguientes ingredientes: pulpa de jitomate, fibra de cáscara de aguacate ‘Hass’, goma xantana, ajo, paprika y aceite vegetal de soya.

### **Objetivo del estudio**

El propósito del presente estudio es desarrollar un aderezo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado con fibra antioxidante de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. ‘Hass’) y evaluar su aceptación sensorial con el objetivo de aprovechar los subproductos generados de la industria agroalimentaria, obtener un acompañante que pueda brindarle a los alimentos un mejor sabor y un producto con mayor calidad nutricional para el mercado y aquellos consumidores que deseen aumentar su ingesta de fibra.

### **Participación voluntaria**

Su participación en este estudio es absolutamente voluntaria. Usted esta en la libertad de negarse a participar o de retirar su participación del mismo en cualquier momento.



### **Duración de estudio**

El estudio de evaluación sensorial tiene una duración de 15 a 30 minutos, desde que se entrega consentimiento informado hasta que el panelista termina de llenar los formatos de agrado y preferencia.

### **Criterios de inclusión**

A este estudio serán invitadas a participar personas sanas no entrenadas, mayores de 18 años, consumidores habituales de aderezos y sus ingredientes, sin exclusión de género y con aptitud para comunicarse y describir sensaciones percibidas. Sin ninguna intolerancia o reacción alérgica a los ingredientes del aderezo (pulpa de jitomate, fibra de cáscara de aguacate 'Hass', goma xantana, ajo, paprika y aceite vegetal de soya).

### **Criterios de exclusión**

Personas embarazadas, con intolerancia o que presenten reacciones alérgicas a alguno de los ingredientes antes descritos, que presenten algún padecimiento que les impida su apreciación sensorial o que se encuentren bajo la influencia de sustancias psicoactivas.

### **Procedimiento**

El estudio se llevará a cabo en el Laboratorio de Análisis Sensorial del CAIDEP dentro del Parque Biotecnológico de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Para el primer análisis se le proporcionará una muestra de cada formulación además de un control comercial con un código aleatorio conformado por 3 letras donde clasificarán las muestras por orden de preferencia. Para el segundo análisis, se utilizará una escala hedónica de 9 puntos para evaluar los parámetros: color, olor, sabor, textura, untabilidad y agrado en general de cada muestra. En dado caso de que usted comience a presentar intolerancia o alguna reacción al producto desarrollado, será retirado del estudio y se le brindará atención médica.

### **Beneficios**

Al participar en el estudio, usted no contará con ningún beneficio económico ni directo. Pero, si acepta participar está colaborando con la Universidad Autónoma de Querétaro para encontrar la mejor formulación para un alimento nutracéutico y que este pueda ser llevado al mercado como un producto alimenticio.

### **Confidencialidad**

Toda la información proporcionada para el estudio sera de carácter estrictamente confidencial de acuerdo con los lineamientos estipulados por el Reglamento de la Ley General de Salud. Únicamente se utilizará por el equipo de investigación del proyecto para fines del conocimiento del nivel de agrado del producto a desarrollar en el estudio y no se encontrará disponible para ningun otro propósito. Usted quedará identificado con un numero y no con su nombre. Los resultados de este estudio serán publicados con fines científicos.

### **Riesgos potenciales**

La participación en este estudio implica riesgos mínimos en su salud por los ingredientes del aderezo mencionados anteriormente. Por otro lado, se garantiza la inocuidad microbiológica del producto al igual que los insumos utilizados durante el analisis sensorial. El presente estudio fue revisado y aprobado por el comité de bioetica de la Facultad de Quimica de la Universidad Autónoma de Querétaro. En el caso de necesitar atención médica como consecuencia de la participación en el estudio, esta se le dará en las instalaciones de la unidad médica FarmaUAQ o en la Unidad de Cuidados Médicos de la Universidad Autónoma de Querétaro.

### **Contacto**

En dado caso de tener alguna pregunta, comentario o preocupación con respecto al proyecto, o está interesado en conocer los resultados de este, por favor comuniquese con Ing. Paola Leticia Burgos Martínez al siguiente número de teléfono 8712338425 o al correo [burgosm98@hotmail.com](mailto:burgosm98@hotmail.com).

Al firmar el presente documento acepto voluntariamente la participación como panelista no entrenado en el estudio y manifiesto bajo la protesta de decir la verdad. De igual manera, se me ha explicado el estudio de investigación el cual desarrolla un aderezo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado con fibra antioxidante de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass'), así como los objetivos, posibles riesgos y beneficios, además de otros aspectos. Se me ha brindado la oportunidad de resolver dudas relacionadas al estudio y me han respondido satisfactoriamente. Acepto también que no habrá una remuneración de ningún tipo por mi participación.

A continuación registre su nombre y firma en este documento del cual se le entregara una copia.

Participante

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

He sido testigo de la lectura exacta del documento de consentimiento informado por parte del potencial participante y éste ha tenido la oportunidad de hacer preguntas, por lo cual confirmó que el individuo ha dado su consentimiento libremente.

**Nombre del investigador principal:** Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña.

Nombre del investigador asistente: I.B.N. Paola Leticia Burgos Martínez.

Firma del investigador asistente: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

### **Anexo 3.** Revocación del consentimiento informado

Santiago de Querétaro; Querétaro a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_.

Mediante la presente, el(la) que suscribe C. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ declara la revocación del consentimiento informado de estudio “Evaluación sensorial de un aderezo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) adicionado con fibra antioxidante de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill cv. ‘Hass’), lo anterior por así convenir a mis intereses, firmado el día \_\_\_\_\_ en el que consentí mi participación.

Firma del participante: \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Investigador Responsable

loarca@uaq.mx

\_\_\_\_\_  
I.B.N. Paola L. Burgos Martínez

Investigador Asistente

burgosm98@hotmail.com

\_\_\_\_\_  
Testigo 1

\_\_\_\_\_  
Testigo 2

## Anexo 4. Boletas del análisis sensorial

### Formato 1



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos



#### Evaluación sensorial

Fecha: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_

Sexo: ( ) Femenino ( ) Masculino

Código de la muestra	Orden de preferencia
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	

1. Por el sabor, ¿puede identificar los ingredientes con los que se elaboró el producto?

( ) Si ( ) No

Si la respuesta fue afirmativa, enliste los ingredientes identificados:

\_\_\_\_\_

2. ¿Compraría alguno de los aderezos que ha probado?

( ) Si ( ) No

3. ¿Mejoraría algo del producto?

( ) Si ( ) No

Si la respuesta fue afirmativa, describa lo que mejoraría:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Formato 2



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos



### Evaluación sensorial

Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Anota en la casilla el código de la muestra conformado por 3 letras. Marque con una X su reacción ante los atributos a calificar. *Tome en cuenta lo siguiente:*

- |                                  |                                  |                               |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Me disgusta<br>extremadamente | 4. Me disgusta poco              | 7. Me gusta<br>moderadamente  |
| 2. Me disgusta mucho             | 5. Ni me gusta ni me<br>disgusta | 8. Me gusta mucho             |
| 3. Me disgusta<br>moderadamente  | 6. Me gusta poco                 | 9. Me gusta<br>extremadamente |

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Olor</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Color</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Sabor</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Textura</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Untabilidad</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>