



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE UN YOGUR
ADICIONADO CON HARINA DE *Persea americana* Mill.**



APROBADA

TESIS

Para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

Presenta:

NOÉ MARTÍNEZ LEDESMA



Bajo la supervisión de: Landy Hernández Rodríguez, Doctora



Chapingo, Estado de México, noviembre de 2023

**INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE UN YOGUR
ADICIONADO CON HARINA DE *Persea americana* Mill.**

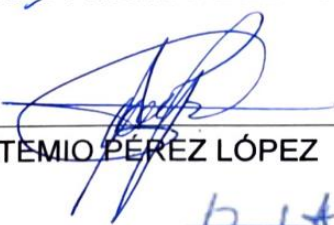
Tesis realizada por **Noé Martínez Ledesma** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

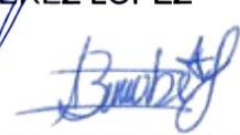
DIRECTORA:


DRA. LANDY HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

ASESOR:


DR. ARTEMIO PÉREZ LÓPEZ

ASESOR:


DR. BERNABÉ LAUREANO LÓPEZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
DEDICATORIAS	x
AGRADECIMIENTOS	xi
DATOS BIOGRÁFICOS	xii
RESUMEN GENERAL.....	xiii
GENERAL ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Capítulos de la tesis	3
1.2. Literatura citada.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1. Aguacate Hass (<i>Persea americana</i> Mill.).....	6
2.2. Producción mundial y nacional de aguacate	6
2.2.1. Producción mundial	6
2.2.2. Producción de aguacate en México	7
2.3. Cantidad de desperdicios generados por aguacate	8
2.4. Aprovechamiento de subproductos	10
2.5. Composición de los subproductos de aguacate	11
2.5.1. Cáscara	11
Composición fitoquímica y proximal de la cáscara de aguacate	12
2.5.2. Semilla	12
Composición fitoquímica y proximal de la semilla de aguacate	12
2.5.3. Pulpa	14
Composición fitoquímica y proximal de la pulpa de aguacate	14
2.6. Yogur.....	14
2.6.1. Consumo de yogur en México	15
2.6.2. Beneficios del consumo de yogur.....	15
2.6.3. Incorporación de subproductos al yogur	16
2.6.4. Incorporación de harinas de fruta en yogur	16

2.6.5. Efecto de la incorporación de harinas en el comportamiento químico, reológico y estructural del yogur	17
2.7. Literatura citada.....	18
3. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE CÁSCARA Y PULPA DESENGRASADA DE <i>Persea americana</i> Mill.....	23
3.1. Resumen	23
3.2. Introducción.....	25
3.3. Materiales y métodos	26
3.3.1. Ubicación del trabajo	26
3.3.2. Materiales	26
3.3.3. Acondicionamiento de la muestra	26
Deshidratación	26
Desengrasado.....	27
3.3.4. Caracterización fisicoquímica de HC y HP	27
Análisis proximal de HC y HP.....	27
Obtención de extractos de HC y HP	28
Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) en HC y HP	28
Determinación de color en HC y HP	28
3.3.5. Caracterización funcional de HC y HP	29
Capacidad de absorción de agua.....	29
Capacidad de absorción de aceite	29
Absorción de agua e índice de solubilidad.....	30
Poder de hinchamiento.....	30
3.3.6. Actividad antioxidante.....	31
Capacidad de captación de radicales DPPH	31
Capacidad de captación de radicales ABTS.....	32
3.3.7. Análisis Estadístico	32
3.4. Resultados y discusión	32
3.4.1. Caracterización fisicoquímica de HC y HP	32

Análisis químico proximal de HC y HP	32
Contenido de compuestos fenólicos totales en HC y HP	34
Determinación de color en HC y HP	35
3.4.2. Caracterización funcional de HC y HP	36
Capacidad de retención de agua.....	36
Capacidad de absorción de aceite	37
Índice de absorción de agua e índice de solubilidad.....	38
Poder de hinchamiento.....	39
3.4.3. Actividad antioxidante en HC y HP	40
Ensayo DPPH	40
Ensayo ABTS	41
3.5. Conclusiones	42
3.6. Agradecimientos.....	42
3.7. Literatura citada.....	43
4. INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y REOLÓGICAS DE UN YOGUR ADICIONADO CON HARINA DE CÁSCARA Y PULPA DE AGUACATE (<i>Persea americana</i> Mill.)	49
4.1. Resumen	49
4.2. Introducción.....	51
4.3. Materiales y métodos	52
4.3.1. Ubicación del trabajo	52
4.3.2. Muestras y reactivos.....	52
4.3.3. Elaboración del yogur fortificado con HC y HP	53
4.3.4. Caracterización del yogur fortificado con HC y HP	54
Análisis proximal.....	54
Valor de pH, acidez titulable y sinéresis.....	54
Obtención de extractos de yogures.....	55
4.3.5. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante del yogur fortificado	55

Determinación de contenido fenólico total	55
Capacidad de captación de radicales DPPH	56
Capacidad de captación de radicales ABTS.....	56
4.3.6. Análisis reológico de yogures fortificado con HC y HP.....	57
4.3.7. Microestructura.....	57
4.3.8. Evaluación sensorial.....	58
4.3.9. Análisis Estadístico	59
4.4. Resultados y discusión	59
4.4.1. Caracterización proximal de yogur fortificado con HC y HP	59
4.4.2. Caracterización fisicoquímica del yogur fortificado con HC y HP .	60
Determinación del pH y acidez titulable a través del tiempo	60
Determinación de sinéresis a través del tiempo	64
Determinación de color a través del tiempo	67
4.4.3. Contenido de fenólico total y actividad antioxidante de los yogures a través del tiempo	69
Contenido fenólico total de los yogures.....	69
Capacidad de eliminación de radicales DPPH	71
Capacidad de eliminación de radicales ABTS.....	72
4.4.4. Comportamiento reológico de los yogures fortificados con HC y HP	74
Propiedades viscoelásticas.....	74
Propiedades de flujo	79
4.4.5. Microestructura de los yogures.....	82
4.4.6. Análisis Sensorial.....	86
4.5. Conclusiones	89
4.6. Agradecimientos.....	89
4.7. Literatura citada.....	90

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Proyección de producción de aguacate Hass.....	8
Cuadro 2. Desperdicios generados en México.....	9
Cuadro 3. Contenido proximal de semilla de aguacate.....	13
Cuadro 4. Contenido químico proximal de HC y HP de aguacate	33
Cuadro 5. Contenido fenólico total de los extractos de HC y HP de aguacate	34
Cuadro 6. Color en HC y HP de aguacate	35
Cuadro 7. Capacidad de retención de agua en HC y HP de aguacate	36
Cuadro 8. Capacidad de retención de aceite en HC y HP de aguacate	37
Cuadro 9. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en HC y HP de aguacate.....	38
Cuadro 10. Poder de hinchamiento en HC y HP de aguacate.....	39
Cuadro 11. Actividad de eliminación de radicales DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) en HC y HP de aguacate.....	40
Cuadro 12. Actividad de eliminación de radicales ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) en HC y HP de aguacate.....	41
Cuadro 13. Formulación para las variaciones de yogur.....	53
Cuadro 14. Contenido químico proximal de los yogures fortificados con HC y HP de aguacate	60
Cuadro 15. pH y acidez de los yogures fortificados con HC y HP de aguacate	61
Cuadro 16. Sinéresis de los yogures fortificados con HC y HP de aguacate	65
Cuadro 17. Parámetros de color obtenidos en el yogur fortificado con HC y HP de aguacate	68
Cuadro 18. Contenido fenólico total de los extractos de yogur fortificados con HC y HP de aguacate.....	70

Cuadro 19. Actividad de eliminación de radicales DPPH del yogur fortificado con HC y HP de aguacate.....	72
Cuadro 20. Actividad de eliminación de radicales ABTS del yogur fortificado con HC y HP de aguacate.....	73
Cuadro 21. Valores de los módulos de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y tangente de pérdida ($\tan \delta$) de los yogures	78
Cuadro 22. Valores medios de los parámetros del modelo de Ostwald-de Waele.	80
Cuadro 23. Atributos sensoriales medidos y puntuaciones generales de aceptabilidad de las variaciones de yogur fortificado con HC y HP.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de los yogures fortificados con HC y HP en el día uno de la evaluación fisicoquímica.	59
Figura 2. Valores de pH de los yogures almacenados durante 15 días de almacenamiento.	63
Figura 3. Acidez titulable de los yogures almacenados durante 15 días.	63
Figura 4. Yogures fortificados con HC y HP en el día 15 de evaluación fisicoquímica.....	67
Figura 5. Variación del módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') en función del % de deformación en el día 1.	75
Figura 6. Variación del módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'') en función del % de deformación en el día 14.....	76
Figura 7. Variación de la viscosidad aparente como función de la tasa de corte y tiempo de almacenamiento.....	81
Figura 8. Micrografías SEM de yogures control y fortificados con HP al 0.1 y 0.3 % p/p.	84
Figura 9. Micrografías SEM de yogures control y fortificados con HC al 0.1 y 0.3 % p/p.	85

DEDICATORIAS

Primeramente, quiero agradecer a mis padres Francisco Martínez y Claudia Ledesma por siempre darme el apoyo para cumplir con mis objetivos personales y académicos al igual que mis hermanas Anel y Claret que con su cariño y amor me han impulsado a siempre perseguir mis metas y enfrentar las adversidades que las acompañan.

Posteriormente quiero agradecer profundamente a mi directora Dra. Landy Hernández por su asesoría y paciencia, ya que sin su dedicación y comentarios precisos no hubiese podido concluir este proyecto. Gracias por su guía y todos sus consejos, los usaré y recordaré para siempre en mi futuro profesional.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a todos mis amigos y demás familia que estuvieron conmigo durante esta etapa de mi vida especialmente a mis primos Luis y Herany García que han sido mi fuerza y mi apoyo incondicional, a mis tías Aracely y Cristina Ledesma gracias por ser mi punto de apoyo y mi equipo de aliento. Un sincero agradecimiento a todos mis viejos y nuevos amigos que estuvieron conmigo en los momentos de alegría y estrés durante este largo y retador camino especialmente a: Alejandro, Diana Ivonne, Etna, Julián, Fernando, Osvaldo, Jenny, Naydelyn, Karla y Rocío gracias por formar parte de mi vida y ser parte de la familia que yo escogí.

Cualquier persona que deja de aprender es vieja, ya sea a los veinte u ochenta.

Cualquier persona que sigue aprendiendo se mantiene joven.

La cosa más grande en la vida es mantener la mente joven

Henry Ford

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que me ayudaron a completar este proyecto merecen mi agradecimiento y gratitud pues sin ellos esta tesis no habría sido posible.

Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) por la beca No 1143721 otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Departamento de Ingeniería Agroindustrial y al Departamento de Preparatoria Agrícola por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por el equipo y apoyo técnico en el escaneo electrónico para el análisis microscópico de las muestras.

A mi comité asesor, Dr. Artemio Pérez López, Dr. Bernabé Laureano López, proveer la asesoría y equipos necesarios para la realización de este proyecto y en especial a mi directora Dra. Landy Hernández Rodríguez por su apoyo en la planeación y desarrollo de esta investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Información personal



Nombre: Noé Martínez Ledesma

Fecha de nacimiento: 22 de agosto de 1995

Lugar de nacimiento: Iztapalapa, Ciudad de México, México

CURP: MALN950822HDFRDX05

Profesión: Ingeniero en Alimentos

Cédula profesional: 12395636

Desarrollo académico:

Bachillerato: Escuela Preparatoria Texcoco, Universidad Autónoma del Estado de México.

Licenciatura: Ingeniería de los Alimentos, Universidad Autónoma Metropolitana

RESUMEN GENERAL

INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE UN YOGUR ADICIONADO CON HARINA DE *Persea americana* Mill.

La cáscara y la pulpa desengrasada son subproductos provenientes de la industrialización del aguacate (*Persea americana* Mill.) comúnmente desperdiciados. En la presente investigación se determinaron las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y funcionales de la harina de cáscara (HC) y la harina de pulpa desengrasada (HP) con el objetivo de valorizar su uso como estabilizante en un yogur en diferentes concentraciones. Se prepararon 2 tipos de yogures con 2.2 % de grasa (CG) y reducidos en grasa (1.1 %, BG), 0.1 (HC_{0.1} y HP_{0.1}) y 0.3 % p/p (HC_{0.3} y HP_{0.3}) de HC y HP como sustituto de grasa. Se determinaron en los yogures las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes, microestructurales, reológicas y sensoriales durante 15 días. El contenido fenólico total (CFT) y la capacidad de retención de agua (CRA) de HC y HP afectaron significativamente ($p \leq 0.05$) al yogur. HC fue 8.2 veces mayor en CFT que HP, mientras que HP obtuvo un porcentaje mayor (2.39 %) de CRA respecto a HC. Al incrementar la concentración de HC y HP se observó un aumento en el CFT de 2.02 ± 0.05 (CG) a 4.62 ± 0.01 (HC_{0.3}) y una disminución en el porcentaje de sinéresis de 9.13 ± 0.12 (BG) a 3.67 ± 0.01 (HP_{0.3}) en los yogures. De la misma manera, al aumentar la cantidad de HC y HP exhibieron valores mayores de G' (módulo de almacenamiento) y G'' (módulo de pérdida) respecto a BG y un incremento en la viscosidad, el cual fue descrito por el modelo de Ostwald-de Waele. Las micrografías mostraron un aumento significativo en la cohesividad del gel en HP_{0.3} en comparación a BG. El yogur con la mayor aceptación global en la evaluación sensorial fue HP_{0.1} (4.30 ± 0.78) respecto a BG (3.34 ± 0.94).

Palabras clave: subproductos, *Persea americana* Mill., propiedades fisicoquímicas, reología, yogur fortificado y microestructura.

GENERAL ABSTRACT

INFLUENCE ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF A YOGURT ADDED WITH FLOUR FROM *Persea americana* Mill.

The peel and defatted pulp are commonly wasted by-products from avocado (*Persea americana* Mill) industrialization. In the present research, the physicochemical, antioxidant and functional properties of peel flour (HC) and defatted pulp flour (HP) were determined to evaluate their use as stabilizers in yogurt at different concentrations. Two types of yogurts were prepared with 2.2% fat (CG) and reduced fat (1.1%, BG), 0.1 (HC_{0.1} y HP_{0.1}) and 0.3 % w /w (HC_{0.3} y HP_{0.3}) of HC and HP as a fat substitute. Physicochemical, antioxidant, microstructural, rheological, and sensory properties were determined in the yogurts for 15 days. The total phenolic content (TPC) and water holding capacity (WHC) of HC and HP significantly affected the yogurt. HC was 8.2 times higher in TPC than HP, while HP obtained a higher percentage (2.39 %) of WHC with respect to HC. By increasing the concentration of HC and HP, an increase in TPC from 2.02 ± 0.05 (CG) to 4.62 ± 0.01 (HC_{0.3}) and a decrease in the percentage of syneresis from 9.13 ± 0.12 (BG) to 3.67 ± 0.01 (HP_{0.3}) were observed in yogurts. Likewise, increasing the amount of HC and HP exhibited higher values of G' (storage modulus) and G'' (loss modulus) with respect to BG and an increase in viscosity, which was described by the Ostwald-de Waele model. Micrographs showed a significant increase in gel cohesivity at HP_{0.3} compared to BG. The yogurt with the highest overall acceptance in the sensory evaluation was HP_{0.1} (4.30 ± 0.78) with respect to BG (3.34 ± 0.94).

Key words: by-products, *Persea americana* Mill., physicochemical properties, rheology, fortified yogurt and microstructure.

Thesis. Maestría en Ciencia, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Noé Martínez Ledesma

Advisor: Dr. Landy Hernández Rodríguez

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En años recientes se ha llevado a cabo un esfuerzo internacional para disminuir y aprovechar los subproductos, la Organización de las Naciones Unidas se ha propuesto como objetivo la reducción de desperdicios de alimentos y de esta forma lograr un mundo más sostenible para el 2030 (Brito et al., 2020; Caldeira et al., 2020). La preocupación mundial ha ido en aumento debido a la cantidad de desperdicios que se generan, tan solo en el año 2019 América Latina produjo 127 millones de toneladas de desperdicios de alimentos (Pires et al., 2023).

Para lograr el objetivo propuesto el 2030 se requiere de un uso eficiente de las materias primas; sin embargo, la producción de alimentos genera cantidades considerables de subproductos (Nitzko, 2023), como los obtenidos de la industrialización del aguacate, los cuales representan entre el 21 y el 30% del peso total del fruto (Acquavia et al., 2023; Araújo et al., 2018). Estos subproductos poseen una cantidad considerable de proteínas, fibras y cenizas en cáscaras (8.28, 50.65 y 6.05 % p/p respectivamente) y en pulpa desengrasada (12.8, 30 y 2.5 % p/p respectivamente) (Araújo et al., 2018; Sabo et al., 2002), así como diferentes tipos de compuestos antioxidantes como: catequina, proantocianidinas, glucósidos de quercetina, catequina, ácido cafeoilquínico, ácido cumaroilquínico, entre otros, los cuales son los responsables de la actividad antioxidante en la cáscara y pulpa (Jiménez et al., 2021; Araújo et al., 2018). Algunos de estos compuestos contenidos en los subproductos del aguacate han probado tener actividad biológica contra el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Jiménez et al., 2021).

Debido a lo anterior se ha observado un incremento en la demanda de aguacate al tratar de cubrir las necesidades alimenticias de la población (Araújo et al., 2018). Por otro lado, la ingesta de yogur ha crecido gradualmente en todo el mundo, tan solo en México se registró un consumo

anual de 607 mil litros de yogur en el 2021 (INEGI, 2022), el consumo de este producto se atribuye a su valor nutricional y sabor agradable, el cual puede modificarse cuando este sufre una fortificación.

Finalmente es importante remarcar que, aunque se han llevado a cabo estudios donde emplean subproductos de aguacate, no se han llevado a cabo investigaciones sobre el efecto de la incorporación de harinas de cáscara y pulpa desengrasada sobre las propiedades del yogur batido, generando la siguiente hipótesis: La fortificación de harina de cáscara y pulpa desengrasada de aguacate influirá positivamente en la red estructural del yogur mejorando las propiedades mecánicas y antioxidantes en comparación a los yogures batidos convencionales. Por lo tanto, en la presente investigación se planteó como objetivo general determinar los cambios en las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes, reológicas, microestructurales y sensoriales de yogures batidos fortificados al 0.1 (HC_{0.1} y HP_{0.1}) y 0.3 % p/p (HC_{0.3} y HP_{0.3}) con harina de pulpa desengrasada (HP) y harina de cáscara (HC) de aguacate (*Persea americana* Mill.).

Para lograr el cumplimiento del objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos: 1) Determinar las propiedades funcionales y fisicoquímicas (humedad, porcentaje de cenizas, proteínas, grasa cruda, contenido de polifenoles y capacidad antioxidante) de HC y HP, 2) Determinación de compuestos antioxidantes presentes en HC y HP, 3) Evaluar el pH, acidez titulable, sinéresis y actividad antioxidante de los yogures batido fortificados con las HC y HP, 4) Estudiar la microestructura y propiedades reológicas de los yogures fortificados y 5) Analizar las propiedades afectivas de los yogures fortificados con HC y HP.

1.1. Capítulos de la tesis

El presente documento de tesis está conformado por los siguientes capítulos:

- a) Capítulo 1: Presenta una introducción general al tema abordado durante esta investigación donde se muestra el planteamiento y realización de este. Se presentan los objetivos específicos y el objetivo general que se propusieron para probar la hipótesis planteada. Los contenidos en este documento son explicados en esta sección.
- b) Capítulo 2: Muestra el estado del arte de la problemática en la que se centra el presente trabajo de investigación, comenzando con una breve explicación de la problemática a resolver al igual que una breve explicación de las características del subproducto utilizado a partir del cual se hicieron las harinas; cáscara y pulpa desengrasada de aguacate. Más adelante se profundiza sobre sus características funcionales y sus propiedades fisicoquímicas.
- c) Capítulo 3: Corresponde a la primera parte de los resultados obtenidos durante el trabajo de investigación. En este apartado se muestran los procedimientos y condiciones necesarias para llevar a cabo la caracterización fisicoquímica, funcional y antioxidante de las harinas de cáscara y pulpa desengrasada. Posteriormente se muestran los resultados obtenidos de las pruebas proximales, fisicoquímicas, antioxidantes y funcionales de la harina de cáscara y pulpa desengrasada de aguacate Hass.
- d) Capítulo 4: Se muestran la segunda parte de las pruebas realizadas durante la presente investigación con la incorporación de las harinas de aguacate a un yogur batido. En este capítulo se especifican los tratamientos y pruebas utilizadas para medir el efecto de la incorporación de las harinas. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos de las de cada uno de los tratamientos evaluados en los análisis proximales, fisicoquímicos, antioxidantes, reológicos, microestructurales y sensoriales.

1.2. Literatura citada

- Acquavia, MA, Benítez, JJ, Bianco, G., Crescenzi, MA, Hierrezuelo, J., Grifé-Ruiz, M., Romero, D., Guzmán-Puyol, S., & Heredia-Guerrero, J.A. (2023). Incorporation of bioactive compounds from avocado by-products into ethylcellulose-reinforced paper for food packaging applications. *Food Chemistry*, 429 (136906), 136906. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136906>
- Ahmad, I., Hao, M., Li, Y., Zhang, J., Ding, Y., & Lyu, F. (2022). Fortification of yogurt with bioactive functional ingredients and foods and associated challenges: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 129, 558–580. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.003>
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Brito, T. B. N., Pereira, A. P. A., Pastore, G. M., Moreira, R. F. A., Ferreira, M. S. L., & Fai, A. E. C. (2020). Chemical composition and physicochemical characterization for cabbage and pineapple by-products flour valorization. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 124(109028), 109028. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109028>
- Caldeira, C., Vlysidis, A., Fiore, G., De Laurentiis, V., Vignali, G., & Sala, S. (2020). Sustainability of food waste biorefinery: A review on valorisation pathways, techno-economic constraints, and environmental assessment. *Bioresource Technology*, 312(123575), 123575. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123575>
- Cortés, L.-N., Villamil, R.-A., & Cortés, L.-Y. (2023). The impact of PUFA-enriched yogurt consumption on cardiovascular risk markers: A review. *PharmaNutrition*, 23(100330), 100330. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2023.100330>
- INEGI. (2022). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2022. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares. https://genero.congresocdmx.gob.mx/wp-content/uploads/2022/10/enigh2020_ns_presentacion_resultados.pdf
- Jiménez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., Garcia-Díaz, 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>

- Nitzko, S. (2023). Consumer acceptance of the use of plant and animal by-products of food manufacturing for human nutrition. *Food and Humanity*, 1, 1238–1249. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.019>
- Pires, J. B., dos Santos, F. N., da Cruz, E. P., Fonseca, L. M., Siebeneichler, T. J., Lemos, G. S., Gandra, E. A., da Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G. (2023). Starch extraction from avocado by-product and its use for encapsulation of ginger essential oil by electrospinning. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254(127617), 127617. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127617>
- Sabo, E., Naveh, E., Werman, M. J., & Neeman, I. (2002). Research communication: Defatted avocado pulp reduces body weight and total hepatic fat but increases plasma cholesterol in male rats fed diets with cholesterol. *The Journal of Nutrition*, 132(7), 2015–2018. <https://doi.org/10.1093/jn/132.7.2015>

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aguacate Hass (*Persea americana* Mill.)

El aguacate es un fruto originario de México y América Central, donde se cultivó desde épocas prehispánicas y es el único fruto comestible de la familia Lauraceae (Pires et al., 2023). Proveniente de una planta leñosa de elevado porte, presenta hojas coriáceas y semillas dicotiledóneas, su floración aparece en racimos y se estima que cada árbol puede producir un millón de flores, aunque solo 0.1 % de ellas terminan transformándose en fruto; el cual se describe como una baya de tamaño mediano/pequeño con un peso de 140 a 400 g, se origina de un gineceo unicarpelar que contiene una sola semilla; se divide en tres componentes principales, cáscara, mesocarpio pulposo (la parte comestible) y el endocarpio (capa delgada que cubre la semilla) (Cummings y Schroeder, 1942). Otros autores describen al aguacate como un fruto con superficie lisa o rugosa de color verdoso con piel fina o gruesa y de color oscuro (Cruz et al., 2022). La pulpa, semilla y cáscara representan aproximadamente el 71, 15 y 14 % del peso total del fruto respectivamente, actualmente se considera un fruto con alto valor comercial debido a la demanda de los consumidores en los mercados internacionales. La producción del aguacate Hass ha aumentado anualmente un promedio de 4.1 % desde el año 2013 al 2020 (Salazar et al., 2020; Arias et al., 2018).

2.2. Producción mundial y nacional de aguacate

2.2.1. Producción mundial

Más de 60 países del mundo son productores de por lo menos 500 variedades de aguacate debido a que la planta de aguacate es altamente adaptable a regiones tropicales; sin embargo, México es proveedor de las tres variedades más apreciadas por los consumidores: Hass (*Persea americana* Mill.), Criollo

y Fuerte. Durante el siglo XIX, el cultivo de aguacate (*Persea americana*) se ha extendido por Asia, y hoy en día se cultiva y cosecha en todo el mundo (Araújo et al., 2018).

En el periodo de 2019 a 2020 la producción mundial de aguacate aumentó 13.9 %; en el 2019 se reportó una producción de 7 millones de toneladas y aumentó a 8 millones de toneladas en 2020 (Rodríguez et al., 2022). Los principales proveedores de aguacate Hass son los países de Centroamérica y el Caribe, los cuales representan el 78 % de la producción mundial; México es el país con mayor cantidad de producción con un volumen de 2,330,889 toneladas reportadas en 2019, representando el 33 % de la producción mundial. Los países que más importan este fruto son Estados Unidos de América, Holanda y Francia; en el periodo de 2013 a 2020 la ingesta per cápita mundial de aguacate a nivel mundial creció de 0.66 a 0.85 kg/año (Rodríguez et al., 2022; Arias et al., 2018)

2.2.2. Producción de aguacate en México

Con una producción de un millón 644 mil toneladas, México es líder en su cultivo y exportación a nivel mundial, seguido de República Dominicana con una producción de 387 mil 546 toneladas al año. México representa el 30 % de la producción mundial según estimaciones de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014).

En el periodo 2019 a 2020, la producción nacional de aguacate alcanzó una producción de 2.4 millones de toneladas, lo equivalente al 43 % de la producción mundial, de las cuales 860 mil toneladas fueron exportadas representando el 45 % del mercado mundial (Cruz-López et al., 2022).

La demanda de este fruto se ha incrementado en 26 países que incluyen integrantes del T-MEC (Tratado de Libre Comercio de América del Norte), TLCTN (Tratado de Libre Comercio del Triángulo Norte) y TPP (Acuerdo Estratégico Trans-Pacífico de Asociación Económica), así como China y países miembros del bloque de la Unión Europea, debido a esto se observó un aumento del 22 % en el valor de las exportaciones (USDA, 2020). El

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) ha estimado que uno de cada tres aguacates que se consumen en el planeta son de origen mexicano, este mismo organismo ha estimado el volumen de producción donde se ha observado una tendencia de crecimiento desde el 2016 y ha proyectado un estimado de la producción de aguacate en México hasta el año 2023 como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Proyección de producción de aguacate Hass para el periodo 2017-2030.

Año/Periodo	Estimaciones				Crecimiento promedio anual	
	2016	2018	2024	2030	2003-2016	2016-2030
Producción potencial (millones de toneladas)	1.89	2.05	2.61	3.16	5.82%	3.49%
Exportaciones (millones de toneladas)	1.02	1.17	1.65	2.114	17.60%	5.04%
Valor de exportaciones (millones de dólares en 2016)	2,227.25	2,542.44	3,604.40	4,655.78		

Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017).

En el año 2020 Estados Unidos de América importó aproximadamente el 76 % de los aguacates de México, por lo que es el principal comprador, representando el 60 % de las exportaciones nacionales. Lo anterior representa para México un ingreso económico aproximado de 2,400 millones de dólares, sin considerar el ingreso generado por el aumento en las exportaciones (22 %) en el periodo de 2019 a 2020. El incremento en el porcentaje de exportaciones ha sido causado por la apertura de nuevos mercados de exportación en otros países como Japón, América Central, Canadá y Europa (Cruz-López et al., 2022; Coronado et al., 2015).

2.3. Cantidad de desperdicios generados por aguacate

El sector productivo de aguacate en México se caracteriza por una alta variación de precios que están sujetos a la demanda del mercado, debido a estos los precios de aguacate varían constantemente, por lo que productores

y compradores negocian diariamente el precio de compra/venta.

El uso integral de alimentos, disminución de residuos y el aprovechamiento de los subproductos ha sido un tema importante en las agendas de instituciones internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés); representantes de esta organización han informado un aumento en años recientes en el volumen de desperdicios de alimentos (1,300 a 1,400 millones de toneladas) que representan una pérdida económica estimada en mil millones de dólares (Kumar et al., 2022). En México se ha estimado que el 37 % de la producción agropecuaria se desperdicia (Secretaría del Bienestar, 2013). El 54 % de las frutas y verduras producidas en México se desperdician al igual que el 28.8 % de la producción de aguacate. Estas cifras son apoyadas por el Banco Mundial, el cual informó una pérdida de al menos 20 millones 418 mil 214 de toneladas de alimentos. El aguacate ocupa la sexta posición como la fruta más desperdiciada con una cantidad anual de 312 mil 812 toneladas de acuerdo con lo observado en la Cuadro 2 (SIAP, 2023).

Cuadro 2. Desperdicios generados en México durante el año 2018.

Posición	Alimento	Toneladas
1	Tortilla	2,857
2	Jitomate	925
3	Papa	788
4	Carne de res	552
5	Mango	468
6	Aguacate	312
7	Pollo	275
8	Manzana	218
9	Papaya	171

Fuente: El Financiero, 2018.

El incremento en la demanda internacional no solo ha sido por el aguacate fresco, en los últimos años ha surgido la industrialización del aguacate con el propósito de entregar productos procesados y mínimamente procesados a los consumidores. Algunos productos son: aceites (refinado o prensado en frío), guacamole, puré, rodajas o mitades congeladas y pulpa liofilizada (T. Ahmad y Danish, 2022; King-Loeza et al., 2023). Este procesamiento da lugar a una cantidad importante de residuos debido a que una vez utilizada la pulpa (la única parte comestible del fruto) se descarta la cáscara, semilla y en el caso de algunos procesos (obtención de aceite) la pulpa agotada o desengrasada, las cuales representan entre el 21 y 30 % de la masa total de la fruta (King-Loeza et al., 2023; Ferreira y Santos, 2022; Jiménez et al., 2020; Rodríguez-Carpena, 2011)

2.4. Aprovechamiento de subproductos

México es líder mundial en producción (2.4 millones de toneladas/año), consumo (8.75 kg/año per cápita) y exportación de aguacate, más del 95% de la producción se consume en fresco y el 5% es procesado. La industria aprovecha la pulpa y el aceite de aguacate para la obtención de productos como: pasta de guacamole congelada, aceite de aguacate y aguacate en rodajas congeladas (Sánchez, 2007, Galanakis, 2019).

Los procesos para la transformación del fruto y obtención de aceite producen una cantidad considerable de subproductos, como cáscaras, semillas y pulpa desengrasada (Ferreira y Santos, 2022; Jiménez et al., 2020; Rodríguez-Carpena, 2011). Respecto a los subproductos del aguacate, representa un reto la gestión de estos residuos, debido a que no se puede disponer de estos como alimento para ganado debido a un compuesto llamado persina, se ha informado que es tóxico para los animales, de igual manera si no se descartan apropiadamente pueden promover la proliferación de plagas vectores como roedores e insectos (Ahmad y Danish, 2022).

Debido a la problemática presentada por la cantidad de subproductos generados por el crecimiento en el consumo de aguacate y sus productos, se

han llevado a cabo investigaciones que han descrito la composición química de la piel, semilla y pulpa desengrasada, del mismo modo se ha determinado el contenido fenólico y la actividad antioxidante con el objetivo de valorizar estos subproductos y obtener bioproductos de alto valor agregado en diferentes industrias como la alimenticia y la cosmética (San José et al., 2023; Jiménez et al., 2021).

2.5. Composición de los subproductos de aguacate

Los subproductos del aguacate Hass son una materia prima abundante y disponible durante todo el año, debido a que esta variedad domina el mercado internacional, es la más producida y está disponible durante todo el año. El aguacate Hass es un fruto mediano con forma de pera que llega a medir 15 cm de ancho y de largo se ha determinado entre 7.5 y 33 cm, debido a que industrialmente solo se aprovechan las partes comestibles (pulpa y aceite), las partes no digeribles son consideradas como desperdicio, sin embargo, son una fuente considerable de compuestos orgánicos como proteínas, carbohidratos, fibras, hemicelulosa, almidón (semillas) y compuestos fenólicos como: catequina, ácido cafeoilquínico, ácido cumaroilquínico, glucósidos de quercetina, dímeros de procianidina (A y B) y trímeros de procianidina (A); sin embargo, la composición proximal y fitoquímica puede variar debido a factores como el clima, altitud, genética, entre otros. Dada su composición química estos subproductos se han incorporado en alimentos y patentados como: semillas de aguacate en bebidas (CN2017174030 20170210), vinagre de aguacate (CN20151877929 20151204), pasta de aguacate (MX20150015352 20151105) y vino de aguacate (CN2017163431 20170203) (Araújo et al., 2018).

2.5.1. Cáscara

La cáscara o piel del aguacate se describe como una capa lisa o granulada, opaca o brillante, granular o flexible y quebradiza, de 6 mm de espesor que representa el 13 % p/p del peso total del aguacate y es el subproducto con el menor porcentaje de peso, sin embargo, posee el mayor contenido fenólico y actividad antioxidante (Jimenez et al., 2021; Araújo et al., 2018)

2.5.1.1. Composición fitoquímica y proximal de la cáscara de aguacate

La cáscara está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina representando el 28, 25 y 4 % p/p, respectivamente. Este subproducto ha sido uno de los más estudiados debido al contenido fenólico (1,699 mg EAG/100 g peso seco) y actividad antioxidante (470 $\mu\text{moET/g}$) (Ahmed y Janaswamy, 2023; Jimenez et al., 2021) que presenta. Se ha informado un contenido proximal de carbohidratos, fibras, lípidos, hemicelulosa, lignina y minerales en la cáscara de 2.90, 6.85, 11.04, 25.3, 35.3 y 0.75 % p/p, respectivamente (Gondim et al., 2005).

Respecto a la composición fitoquímica de la cáscara de aguacate, se ha informado una amplia variedad de compuestos bioactivos como: epicatequina, carotenoides, 3-glucósido, perseitol, β -sitosterol, α -tocoferol, entre otros. La variedad Hass presenta más de 70 compuestos fenólicos, los cuales son los responsables de la actividad antioxidante. Se han informado concentraciones de hasta 8,997 mg EAG/100 g de peso seco, esta característica ha impulsado la incorporación en formulaciones alimenticias (Nyakang'i et al., 2023).

2.5.2. Semilla

La semilla del aguacate presenta una forma achatada, cónica u ovoide, redonda de 5 a 6.4 cm de largo, pesada y dura, de color marfil. La semilla representa entre el 13 y 18 % del peso total de aguacate Hass; presenta una concentración considerable de triglicéridos, ácidos grasos libres, proteínas, lípidos, almidón y fibra (Nyakang'i et al., 2023).

2.5.2.1. Composición fitoquímica y proximal de la semilla de aguacate

Con una producción de más de 8 millones de toneladas de frutos de aguacate por año, se desechan anualmente más de 1.5 millones de toneladas de semillas (Tesfaye et al., 2022). Las semillas son ricas en nutrientes como carbohidratos, proteínas, lípidos y cenizas como se muestra en la Cuadro 3 (Nyakang'i et al., 2023; Araújo et al., 2018).

Cuadro 3. Contenido proximal de la semilla en base seca de aguacate

Grupo	Composición (%)
Contenido de humedad	13.09 %
Materia seca	86.91 %
Fibra Cruda	2.87 %
Ceniza	3.82 %
Componentes del azúcar (mg/g de peso seco)	
Hexosa	1.9
Glucosa	5.62
Fructosa	12.93
Sacarosa	7.86–18.5
d -mannuheptulosa	10.51–63.8
Perseitol	12.54–88.3
Carbohidratos (%)	64.9
Proteína	%
Contenido de proteína bruta (AOAC, método 1990)	2.64
Perfil de lípidos	
Ácidos grasos de cadena larga	(µg/g)
Ácido tetracosanoico	4.29
Ácido nervónico	2.88
Ácido behénico	3.63
Ácido erúcico	2.44
Ácido araquídico	2.39
Ácido esteárico	5.06
Ácido oleico	5.32
Ácido linoleico	4.06
Ácido palmítico	7.1
Ácido mirístico	2.49

Fuente: Bangar et al. (2022)

Varios estudios han reportado que los subproductos presentan elevadas concentraciones de compuestos fenólicos; sin embargo, las semillas presentan la mayoría de las actividades biológicas de los subproductos de aguacate Hass (Araújo et al., 2018). Entre los compuestos encontrados en la semilla se encuentran: saponinas, flavonoides, taninos, alcaloides, oxalatos y fitatos, los cuales son responsables de la actividad biológica (químico protectoras, antialérgicas, anti-hipoglucemiantes y antiinflamatorias) y capacidad antioxidante (460 µmolET/g peso seco) (Nyakang'i et al., 2023; Jiménez et al., 2021)

2.5.3. Pulpa

La pulpa de aguacate Hass puede presentar color amarillo de intenso a pálido, de sabor suave y cremoso debido al contenido de ácidos grasos saturados, poliinsaturados y monoinsaturados (16, 13 y 80 %, respectivamente), además de un contenido en aminoácidos esenciales (valina y lisina), vitaminas (A, B, C, D) y más de 20 nutrientes esenciales. La principal dificultad en la comercialización de la pulpa es causada por su alta tasa de respiración y la velocidad de oxidación enzimática, pardeamiento y autooxidación lipídica, lo que provoca grandes pérdidas económicas (Nyakang'i et al., 2023; Coutinho et al., 2022).

2.5.3.1. Composición fitoquímica y proximal de la pulpa de aguacate

La pulpa de aguacate representa el 58.71 % del peso total del aguacate y es la única parte del fruto que es consumible de las 3 partes que componen al aguacate. Se ha determinado el contenido de pulpa de grasa (64.09 %), fibra (3.81 %), proteína (1.27 %), carbohidratos (0.26 %) y cenizas (11.56 %) (King-Loeza et al., 2023; Sabo et al., 2002).

El contenido fenólico de la pulpa (100 mg EAG/100g peso seco) es menor en comparación a la cáscara (1,699 mg EAG/100 g peso) y la semilla (704 mg EAG/100 g peso seco); sin embargo, posee compuestos fenólicos que aportan beneficios a la salud como: tocoferoles, fitoesteroles, carotenoides y alcoholes alifáticos que presentan actividad biológica (Jiménez et al., 2021; Abaide et al., 2017). La industria procesadora de aceite cuando termina la etapa de extracción desecha el orujo o pulpa desengrasada como desperdicio, la cual presenta aún compuestos bioactivos que retrasan el daño oxidativo cuando es incorporada en alimentos (Nyakang'i et al., 2023)

2.6. Yogur

El yogur es un producto lácteo elaborado por la fermentación de bacterias lácticas (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*). Cuando estos microorganismos son añadidos a la leche, la lactosa presente en la leche es fermentada para producir ácido láctico. La

producción de este ácido orgánico disminuye el pH de la leche que da como resultado la coagulación de las proteínas de la leche y la formación del gel (Wu et al., 2023).

Cambios en la dieta de la población ha impulsado la búsqueda de productos saludables y con un menor contenido de grasa; por lo tanto, se observado la inclinación de los consumidores por productos lácteos fermentados como el yogur reducido en grasa (Wu et al., 2023; Ahmad et al., 2022).

2.6.1. Consumo de yogur en México

A raíz de la pandemia del 2019 por provocada por el virus SARS-CoV-2 (COVID 19) se presentó un cambio en la forma en la que los mexicanos se preocupan por su salud, impulsando el consumo de alimentos que la favorezcan. En los últimos cinco años se observó un crecimiento en el consumo de yogur (35.4 %). Este aumento en el consumo de yogur es favorable para la economía mexicana debido a que el sector lácteo es la tercera actividad económica del sector pecuario nacional, representando un total de 84 mil 772 miles de pesos el equivalente al 17 % de toda la industria pecuaria nacional (Cubas, 2022).

2.6.2. Beneficios del consumo de yogur

En años recientes se ha observado un incremento en el consumo de yogur en todo el mundo, usado comúnmente como probiótico y como fuente de energía. El consumo de este producto contribuye a la salud humana al enriquecer la microbiota intestinal, debido a la alta concentración de proteínas, carbohidratos hidrolizados, vitaminas y minerales (Wu et al., 2023; Ahmad et al., 2022).

Investigaciones han demostrado el efecto benéfico del consumo de yogur con el propósito de prevenir enfermedades cardiovasculares e intestinales. Recientemente la investigación se ha centrado en la adición de ingredientes probióticos, prebióticos y simbióticos, al igual que diversos tipos de extractos y compuestos como harinas con componentes bioactivos, con el objetivo de producir yogures funcionales, que, por sus características nutricionales,

sensoriales, fisicoquímicas y reológicas incrementen su valor nutricional (Meybodi et al., 2020).

2.6.3. Incorporación de subproductos al yogur

La industria alimentaria genera cantidades considerables de subproductos de origen animal y vegetal durante la producción de alimentos, estos desperdicios se depositan en vertederos donde al pasar del tiempo ocasionan problemas en el medio ambiente. A nivel mundial se ha reportado un promedio del 30 al 40 % de desperdicios que equivalen a 1,300 millones de toneladas, motivo por el cual se han desarrollado estrategias sostenibles para la gestión de subproductos provenientes de la industria alimentaria y agroindustrial (Skwarek y Karwowska, 2023). El yogur es considerado un alimento nutritivo debido al proceso de fermentación; sin embargo, continuamente se le añaden subproductos con el propósito de contribuir con las deficiencias nutricionales de la población. Además de mejorar el perfil nutricional, se ha buscado la manera de compensar sus deficiencias sensoriales, de aceptabilidad y comerciabilidad por medio de la fortificación, investigadores como Ahmad et al. (2022) han propuesto algunos principios para la fortificación exitosa del yogur:

1. La demanda de alimentos debe permanecer constante y la fortificación no debe tener ningún efecto sobre su demanda.
2. Los nutrientes agregados deben ser fácilmente absorbidos por el cuerpo.
3. Los productos suplementados deben tener un impacto positivo en el consumidor.

2.6.4. Incorporación de harinas de fruta en yogur

Las frutas son consideradas una fuente de nutrientes con un efecto benéfico en la salud al igual que el yogur, por lo que al añadir fruta al yogur se obtiene un alimento funcional (Ahmad et al., 2022).

Las harinas de frutas son empleadas en la fortificación de yogures debido a su composición química (fibra, grasa, almidón y proteínas) y principios bioactivos (fibra dietética, compuestos antioxidantes y fenólicos). La fruta le confiere beneficios digestivos adicionales al yogur debido a la presencia de

oligosacáridos, los cuales promueven la colonización del intestino por lactobacilos y bifidobacterias (Prestes et al., 2022). Sin embargo, el efecto nutricional del yogur está en función de la disponibilidad y concentración de los nutrientes que dependen de la variedad y estado de madurez fisiológica del fruto. La incorporación de pulpa, jugo, harinas u orujos representa un reto desafiante en la fortificación del yogur debido al impacto negativo que puede conferir sobre las propiedades fisicoquímicas del yogur ya que puede ocurrir una desestabilización de la red proteica que estructura al yogur (Ahmad et al., 2022).

2.6.5. Efecto de la incorporación de harinas en el comportamiento químico, reológico y estructural del yogur

La fortificación de los yogures es un desafío para los investigadores que tratan de valorizar los subproductos y su uso en alimentos. Investigaciones han evidenciado el uso de harinas de subproductos como la cáscara de papaya (Manzoor et al., 2019), cáscara de plátano (Safdari et al., 2021) y orujo de manzana (Karaca et al., 2019), reportado el efecto de la fortificación en términos fisicoquímicos (acidez, pH, sinéresis), reológicos (viscosidad) y microbiológicos; mostrando la complejidad del uso de harinas en la estabilidad del yogur. Por su parte Safdari et al. (2021) informaron que la adición con harina de plátano disminuye el pH debido al aumento en la concentración de *Lactobacillus casei* y *L. gasseri*, una disminución en la sinéresis y aumento en la viscosidad. Por otro lado, Manzoor et al. (2019) al evaluar la harina de cáscara de papaya en yogur, mostró un efecto positivo al incrementar el contenido de minerales y proteína, actividad antioxidante y disminución de la sinéresis; sin embargo, presentó un efecto negativo en la estabilidad durante la vida de anaquel debido a la disminución en la viabilidad de las BAL. Karaca et al. (2019) al evaluar el efecto de la harina de orujo de manzana reportaron un efecto positivo al incrementar la concentración de minerales y en la viabilidad de las BAL, se observó también una reducción en la sinéresis obteniendo de esta forma una viscosidad más alta debido al incremento en la firmeza. La evaluación sensorial no mostró diferencia significativa respecto a los tratamientos sin fortificación.

2.7. Literatura citada

- Abaide, E. R., Zabot, G. L., Tres, M. V., Martins, R. F., Fagundez, J. L., Nunes, L. F., Druzian, S., Soares, J. F., Dal Prá, V., Silva, J. R. F., Kuhn, R. C., & Mazutti, M. A. (2017). Yield, composition, and antioxidant activity of avocado pulp oil extracted by pressurized fluids. *Food and Bioproducts Processing*, 102, 289–298. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.01.008>
- Ahmad, I., Hao, M., Li, Y., Zhang, J., Ding, Y., & Lyu, F. (2022). Fortification of yogurt with bioactive functional foods and ingredients and associated challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 558–580. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.003>
- Ahmad, T., & Danish, M. (2022). A review of avocado waste-derived adsorbents: Characterizations, adsorption characteristics, and surface mechanism. *Chemosphere*, 296(134036), 134036. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134036>
- Ahmed, S., & Janaswamy, S. (2023). Strong and biodegradable films from avocado peel fiber. *Industrial Crops and Products*, 201(116926), 116926. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116926>
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Arias, F., Montoya, C. y Velásquez, O. (2018). Dinámica del mercado mundial de aguacate. *Revista virtual Universidad Católica del Norte*, 55, 22–35. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n55a2>
- Bakirci, S., Dagdemir, E., Boran, O. S., & Hayaloglu, A. A. (2017). The effect of pumpkin fibre on quality and storage stability of reduced-fat set-type yogurt. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(1), 180–187. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13264>
- Bangar, S. P., Dunno, K., Dhull, S. B., Kumar Siroha, A., Changan, S., Maqsood, S., & Rusu, A. V. (2022). Avocado seed discoveries: Chemical composition, biological properties, and industrial food applications. *Food Chemistry: X*, 16, 100507. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100507>
- Basiri, S., Tajbakhsh, S., & Shekarforoush, S. S. (2022). Fortification of stirred yoghurt with mucilage-free flaxseed and its physicochemical, microbial, textural and sensory properties. *International Dairy Journal*, 131(105384), 105384. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105384>
- Caldeira, C., Vlysidis, A., Fiore, G., De Laurentiis, V., Vignali, G., & Sala, S. (2020). Sustainability of food waste biorefinery: A review on valorisation pathways, techno-economic constraints, and environmental assessment. *Bioresource Technology*, 312(123575), 123575.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123575>

- Coronado, J. J. A., Bijman, J., Omta, O., & Lansink, A. O. (2010). Relationship characteristics and performance in fresh produce supply chains: the case of the Mexican avocado industry. *Journal on Chain and Network Science*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.3920/jcns2010.x101>
- Cortés, L.-N., Villamil, R.-A., & Cortés, L.-Y. (2023). The impact of PUFA-enriched yogurt consumption on cardiovascular risk markers: A review. *PharmaNutrition*, 23(100330), 100330. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2023.100330>
- Coutinho, I. B., Quezadas, M. B., de Souza, L. F. G., Nitz, M., & Andreola, K. (2022). Spray drying of avocado pulp using the seed as an adjuvant. *Powder Technology*, 408(117738), 117738. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117738>
- Cruz-López, D. F., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G. y Reza Salgado, J. (2022). Competitividad de las exportaciones aguacate Hass de México en el mercado mundial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(2), 355–362. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2885>
- Cubas, I. (25 de junio de 2022). Datos sobre la industria de lácteos en México: producción, consumo y economía. The Food Tech. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/datos-sobre-la-industria-de-lacteos-en-mexico-produccion-consumo-y-economia/>
- CUMMINGS, K.; C. A. SCHROEDER. 1942. Anatomy of the avocado fruit. California Avocado Society Yearbook 26: 56-64.
- Daiuto, É. R., Tremocoldi, M. A., Alencar, S. M. de, Vieites, R. L., & Minarelli, P. H. (2014). Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate “Hass”. *Revista brasileira de fruticultura*, 36(2), 417–424. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-102/13>
- Ferreira, S. M., & Santos, L. (2023). Incorporation of phenolic extracts from different by-products in yoghurts to create fortified and sustainable foods. *Food Bioscience*, 51(102293), 102293. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102293>
- Galanakis, C. M. (2019). Valorization of Fruit Processing By-products (1.a ed.). Academic Press.
- Gondim, J. A. M., Moura, M. de F. V., Dantas, A. S., Medeiros, R. L. S., & Santos, K. M. (2005). Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. *Food Science and Technology*, 25(4), 825–827. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612005000400032>
- Jiménez, 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>

- Karaca, O. B., Saydam, İ. B., & Güven, M. (2019). Physical, chemical, and sensory attributes of low-fat, full-fat, and fat-free probiotic set yogurts fortified with fiber-rich persimmon and apple powders. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(6), e13926. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13926>
- King-Loeza, Y., Ciprián-Macías, D. A., Cardador-Martínez, A., Martín-del-Campo, S. T., Castañeda-Saucedo, M. C., & Ramírez-Anaya, J. del P. (2023). Functional composition of avocado (*Persea americana* Mill. Var Hass) pulp, extra virgin oil, and residues is affected by fruit commercial classification. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12(100573), 100573. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100573>
- Kumar, V., Sharma, N., Umesh, M., Selvaraj, M., Al-Shehri, B. M., Chakraborty, P., Duhan, L., Sharma, S., Pasrija, R., Awasthi, M. K., Lakkaboyana, S. R., Andler, R., Bhatnagar, A., & Maitra, S. S. (2022). Emerging challenges for the agro-industrial food waste utilization: A review on food waste biorefinery. *Bioresource Technology*, 362(127790), 127790. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127790>
- Manzoor, S., Yusof, Y. A., Chin, N. L., Tawakkal, A., Mohamed, I. S., Fikry, M., & Chang, L. S. (2019). Quality Characteristics and Sensory Profile of Stirred Yogurt Enriched with Papaya Peel Powder. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 42(2).
- Meybodi, N. M., Mortazavian, A. M., Arab, M., & Nematollahi, A. (2020). Probiotic viability in yoghurt: A review of influential factors. *International Dairy Journal*, 109(104793), 104793. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104793>
- Nitzko, S. (2023). Consumer acceptance of the use of plant and animal by-products of food manufacturing for human nutrition. *Food and Humanity*, 1, 1238–1249. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.019>
- Nyakang'i, C. O., Ebere, R., Marete, E., & Arimi, J. M. (2023). Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels) functionality and utilization in food products. *Applied Food Research*, 3(1), 100275. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>
- Pires, J. B., dos Santos, F. N., da Cruz, E. P., Fonseca, L. M., Siebeneichler, T. J., Lemos, G. S., Gandra, E. A., da Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G. (2023). Starch extraction from avocado by-product and its use for encapsulation of ginger essential oil by electrospinning. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254(127617), 127617. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127617>
- Prestes, A. A., Vargas, M. O., Helm, C. V., Esmerino, E. A., Silva, R., & Prudencio, E. S. (2022). How to improve the functionality, nutritional value and health properties of fermented milks added of fruits bioactive compounds: a review.

- Rodríguez-Carpena, J.-G., Morcuende, D., Andrade, M.-J., Kylli, P., & Estévez, M. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5625–5635. <https://doi.org/10.1021/jf1048832>
- Sabo, E., Naveh, E., Werman, M. J., & Neeman, I. (2002). Research communication: Defatted avocado pulp reduces body weight and total hepatic fat but increases plasma cholesterol in male rats fed diets with cholesterol. *The Journal of Nutrition*, 132(7), 2015–2018. <https://doi.org/10.1093/jn/132.7.2015>
- Safdari, Y., Vazifedoost, M., Didar, Z., & Hajirostamloo, B. (2021). The effect of banana fiber and banana peel fiber on the chemical and rheological properties of symbiotic yogurt made from camel milk. *International Journal of Food Science*, 2021, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2021/5230882>
- Salazar-López, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E. y González-Aguilar, G. A. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138, 109774. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>
- San José, M. J., Alvarez, S., & López, R. (2023). Conical spouted bed combustor to obtain clean energy from avocado waste. *Fuel Processing Technology*, 239(107543), 107543. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107543>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2017). Aguacate. Planeación Agrícola Nacional. Recuperado 22 de febrero de 2023, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>
- Secretaría del Bienestar, S. (Ed.). (2013). Se desperdician más de diez mil toneladas de alimentos cada año en México. <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/se-desperdician-mas-de-diez-mil-toneladas-de-alimentos-cada-ano-en-mexico>.
- SIAP. (2023). Las pérdidas y desperdicio de alimentos, un tema que sigue preocupando. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap/articulos/las-perdidas-y-desperdicio-de-alimentos-un-tema-que-sigue-preocupando>
- Skwarek, P., & Karwowska, M. (2023). Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients -a chance to improve the nutritional value. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 115442, 115442. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115442>
- Tesfaye, T., Ayele, M., Gibril, M., Ferede, E., Limeneh, D. Y., & Kong, F. (2022).

Beneficiation of avocado processing industry by-product: A review on future prospect. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100253. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100253>.

USDA. (2020). National statistics for avocados. USA. United States Department of Agriculture (USDA). <https://www.statista.com/topics/3108/avocado-industry/#topicOverview>

Vega, G. (2021, noviembre 17). Productos lácteos en México: oportunidades para un sector en crecimiento. The Food Tech; The Food Tech. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/productos-lacteos-en-mexico-oportunidades-para-un-sector-en-crecimiento/>

Wu, J., Dai, T., Lin, R., Niu, J., Li, Z., Chang, Z., Jia, C., Zou, C., Jiang, D., Jin, M., Huang, J., & Gao, H. (2023). Effect of protein-glutaminase on the texture, rheology, microstructure and sensory properties of skimmed set-type yoghurt. *Food Chemistry*, 429(136831), 136831. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136831>

3. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE CÁSCARA Y PULPA DESENGRASADA DE *Persea americana* Mill.

3.1. Resumen

La harina de cáscara (HC) y harina de pulpa desengrasada de aguacate (HP) son subproductos del proceso industrial de la extracción de aceite de aguacate, ricos en compuestos orgánicos y bioactivos poco aprovechados. Las harinas en esta investigación se caracterizaron por medio de análisis químico proximal, color, capacidad antioxidante y propiedades funcionales de las harinas. La concentración de proteínas, carbohidratos, contenido fenólico total (CFT) así como la capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de retención de aceite (CRG) resultaron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) entre las harinas. Las concentraciones de proteínas en HP presentaron un porcentaje de 8 % mayor que en HC, mientras que los carbohidratos fueron 10.9 % mayor en HC que en HP. Respecto a la concentración de compuestos fenólicos en HC resultó 8.2 veces mayor que en HP. En las propiedades funcionales HP obtuvo un porcentaje mayor de CRA y CRG (2.39 y 1.15 %, respectivamente) a HC. Los valores obtenidos en esta investigación hacen posible la consideración de HC y HP como fuente alternativa de compuestos fenólicos, así como su potencial uso como estabilizante en las formulaciones alimentarias.

Palabras clave: Harina, subproductos, cáscara, pulpa desengrasada, *Persea americana* Mill., propiedades funcionales y antioxidantes.

FUNCTIONAL CHARACTERIZATION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PEEL FLOUR AND DEGREASED PULP FROM *Persea americana* Mill.

Abstract

Avocado peel flour (HC) and defatted pulp flour (HP) are by-products of the industrial process of avocado oil extraction, rich in organic and bioactive compounds that are little exploited. The flours in this research were characterized by proximal chemical analysis, color, antioxidant capacity and functional properties of the flours. The concentration of proteins, carbohydrates, total phenolic content (TPC) as well as water holding capacity (WHC) and oil holding capacity (OHC) were statistically different ($p \leq 0.05$) among the flours. Protein concentrations in HP were 8% higher than in HC, while carbohydrates were 10.9% higher in HC than in HP. The concentration of phenolic compounds in HC was 8.2 times higher than in HP. In functional properties, HP obtained a higher percentage of WHC and OHC (2.39 and 1.15 %, respectively) than HC. The values obtained in this research make possible consideration of HC and HP as an alternative source of phenolic compounds, as well as their potential use as a stabilizer in food formulations.

Key words: Flour, by-products, peel, defatted pulp, *Persea americana* Mill., functional and antioxidant properties.

Thesis. Maestría en Ciencia, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Noé Martínez Ledesma

Advisor: Dr. Landy Hernández Rodríguez

3.2. Introducción

México es el mayor productor y exportador de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.), según datos obtenidos por Cruz-López et al. (2022) en el periodo de 2019 a 2020 se produjeron 2.4 millones de toneladas métricas y se ha informado que el 15 % del volumen total producido es rechazado al no cumplir con las especificaciones óptimas para el consumo humano (King-Loeza et al., 2023) además del desperdicio generado por la industrialización del aguacate, la cual genera cantidades considerables de subproductos como los resultantes de la extracción de aceite de pulpa desengrasada, cáscaras y semillas que normalmente se desechan como residuos (Nyakang'i et al., 2023).

En años recientes los subproductos del aguacate han tomado popularidad debido a que tanto las fracciones comestibles como las no comestibles contienen diversos compuestos bioactivos con actividades biológicas beneficiosas para la salud de la población mundial (King-Loeza et al., 2023; Nyakang'i et al., 2023). Al igual que compuestos orgánicos de interés, como la proteína, se ha informado que el aguacate Hass contiene una concentración 1.5 mayor en proteína que cualquier otra fruta, así como polisacáridos estructurales insolubles (celulosa y lignina) y polisacáridos solubles (hemicelulosas y pectinas); se ha informado un porcentaje de fibra de 6.85 % en cáscara mientras que en la pulpa es de 6.3 %; sin embargo, la cáscara contiene una mayor cantidad de carbohidratos (2.90 % p/p) en comparación a la pulpa (0.26 % p/p) (Daiuto et al., 2014; Gondim et al., 2005). La cáscara y la pulpa desengrasada contienen un alto contenido en vitaminas y antioxidantes. En la cáscara se han informado concentraciones de compuestos fenólicos de 63.7 mg EAG/g y en pulpa de 11.4 a 3.3 mg EAG/g (Nyakang'i et al., 2023; Daiuto et al., 2014).

El contenido fenólico se ve afectado por factores como estados de madurez, ubicación geográfica y métodos usado para su extracción; sin embargo, también se ve influenciado por la composición fitoquímica de los subproductos. A pesar de la información disponible acerca de sus propiedades y beneficios, los subproductos del aguacate siguen siendo

infravalorados, debido a lo anterior el objetivo de la presente investigación es caracterizar la harina de cáscara y pulpa desengrasada con el propósito de ampliar el conocimiento sobre el uso y aprovechamiento de estos subproductos e incorporarlos en alimentos de tal forma que mejoren sus propiedades nutricionales, reológicas y estructurales.

3.3. Materiales y métodos

3.3.1. Ubicación del trabajo

El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnología de los Alimentos, ubicado en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.3.2. Materiales

Las muestras de aguacate (*Persea americana* Mill.) fueron colectadas en el municipio de Santa Clara del Cobre, Michoacán, México (19°24'20'' N, 101°38'23'' 2232 m.s.n.m) y fueron adquiridas por la comercializadora Frutas Finas de Valles de Michoacán, S.A. de C.V. (Ciudad de México, México).

Los reactivos analíticos ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS), 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH), ácido gálico, hexano, Folin-Ciocalteu y persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (Sigma Chemical Co., St. Louis, Misuri, Estados Unidos). Los reactivos analíticos, ácido clorhídrico (HCl), hidróxido de sodio (NaOH), carbonato de sodio (Na_2CO_3) metanol (CH_3OH), etanol (C_2H_6O), cloruro de sodio (NaCl), acetato de etilo ($C_4H_8O_2$), tartrato de sodio y potasio ($KOCO(CHOH)_2COONa \cdot 4H_2O$) y sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 4H_2O$) se adquirieron de Química Meyer® (Química Suastes S.A. de C.V., CDMX, México), todas las evaluaciones y determinaciones se realizaron por triplicado para cada una de las harinas y los resultados se reportaron como media $\pm$ desviación estándar.

3.3.3. Acondicionamiento de la muestra

3.3.3.1. Deshidratación

Las muestras de aguacate fresco se lavaron con hipoclorito de sodio (10 ppm)

para garantizar la desinfección de las muestras, posteriormente se separaron y pesaron los tres componentes del aguacate para obtener los rendimientos de pulpa, semilla y cáscara. La pulpa y la cáscara fueron troceadas y colocadas dentro de una charola de aluminio y puestas a secar empleando una estufa (modelo HCF-62, Riossa Digital, Ciudad de México, México) a 50 ± 1 °C por 24 h, hasta registrar peso constante. La pulpa y la cáscara se molieron empleando un procesador de alimentos Nutri-Bullet® (modelo NBR-1240M, motor de 600W, velocidad 10 000 rpm, NutriBullet, México) durante 3 min y se pasaron a través de una malla No. 80 (Fabricantes de Suministros Industriales y Comerciales, St. Louis, Michigan, Estados Unidos) para obtener la harina de pulpa (HP) y la harina de cáscara (HC).

3.3.3.2. Desengrasado

Debido a la cantidad de grasa presente en la pulpa de aguacate se realizó un desengrasado empleando un equipo Soxhlet y usando hexano como disolvente para la extracción. Se introdujeron 30 g de HP en cartuchos de papel filtro durante 6 h a partir del primer sifón para separar el contenido etéreo de la HP. Posteriormente, se dejó evaporar el disolvente en una campana de extracción por 3 h, obteniendo finalmente la harina de pulpa de aguacate desgrasada (HP) y el aceite de aguacate, el polvo obtenido se almacenó en recipientes de plástico con tapa de rosca a 4 ± 1 °C para su posterior análisis y uso en la producción de yogur fortificado.

3.3.4. Caracterización fisicoquímica de HC y HP

3.3.4.1. Análisis proximal de HC y HP

Se realizó el análisis químico proximal a la HC y HP determinando el contenido de proteína por el método Kjeldahl con un factor de 6.25 (AOAC 954.01), el extracto etéreo se determinó por el método de Soxhlet (AOAC 920.39), porcentaje de cenizas (AOAC 942.05) y fibra cruda (AOAC 991.42) de acuerdo con los procedimientos estándar de la AOAC (2002). El contenido de carbohidratos se calculó por la diferencia de los demás componentes en las harinas como se muestra en la Ecuación 1.

$$\text{Carbohidratos(\%)} = 100 - \text{Lípidos(\%)} - \text{Proteína(\%)} - \text{Cenizas(\%)} - \text{Fibra(\%)} \dots \dots (\text{Ec. 1})$$

3.3.4.2. Obtención de extractos de HC y HP

Para la determinación de contenido fenólico total y actividad antioxidante fue necesario la preparación de extractos a partir de HC y HP. Los extractos fueron obtenidos según la metodología propuesta por Qadir y Wani (2023) con ligeras modificaciones. En tubos de centrifuga tipo Falcon de 50 mL se tomaron 200 mg de cada una de las harinas (HC y HP) con 4 mL de metanol acidificado (HCl/CH₃OH/H₂O, 2:80:18 v/v), las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente durante 2 h con agitación constante.

3.3.4.3. Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) en HC y HP

Para la determinación de fenoles totales se siguió la metodología descrita por Qadir y Wani (2023). Se tomó una muestra de 200 µL de cada extracto de HC y HP y se mezclaron con 1.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (diluido 10 veces) en un tubo Eppendorf de 5 mL. El contenido del tubo se agitó y se dejó reposar durante 5 min, la reacción se detuvo agregando 1.5 mL de carbonato de sodio a 60 % p/v. La mezcla se dejó reaccionar a temperatura ambiente durante 90 minutos en oscuridad. Finalmente, se leyó la absorbancia de la muestra a 725 nm utilizando un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, Estados Unidos). La determinación se realizó por triplicado para cada una de las harinas y los resultados se reportaron como media ± desviación estándar. Se preparó una curva estándar de ácido gálico y el CFT del extracto de muestra se expresó como equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra.

3.3.4.4. Determinación de color en HC y HP

Para la determinación de los parámetros de color se siguió la metodología desarrollada por McGuire (1992). El color en HC y HP se evaluaron utilizando un colorímetro (CR 400, Konica, Minolta Inc., Tokio, Japón) a temperatura ambiente, de forma manual se colocaron 5 g de cada harina en cajas Petri de vidrio de 5 cm de diámetro y se determinaron los parámetros de color Hunter: L*, a* y b* correspondientes a luminosidad (L), verde (-a) o rojo (+a) y azul (-b) o amarillo (+b).

3.3.5. Caracterización funcional de HC y HP

3.3.5.1. Capacidad de absorción de agua

La capacidad de absorción de agua se determinó como describe Ijabadeniyi et al. (2022). En tubos Falcon de 50 mL se depositaron muestras de 2.5 g de HC y HP, se agitaron durante 30 min a 25 ± 1 °C con 20 mL de agua destilada y posteriormente se centrifugaron a $3000 \times g$ durante 10 minutos (Centrifuge 5810 R, Eppendorf, AG, Hamburgo, Alemania) el sobrenadante contenido en ambas muestras se decantó y la ganancia de peso se expresó como porcentaje de la capacidad de absorción de agua, como se muestra en la ecuación 2.

$$CRA = \left(\frac{PS-PM}{PM} \right) \times 100 \dots\dots\dots(\text{Ec. 2})$$

Donde:

CRA= Capacidad de retención de agua

PS= Peso del sedimento

PM= Peso de la muestra

3.3.5.2. Capacidad de absorción de aceite

Para obtener la capacidad de absorción de aceite se reprodujeron las condiciones reportadas por Ijabadeniyi et al. (2022). A 2.5 g de HC y HP se añadieron 20 mL de aceite de canola en un tubo de centrifuga Falcon de 50 mL para después agitar durante 30 min a 25 °C. Transcurrido el tiempo de agitación la mezcla se centrifugó a $3000 \times g$ durante 10 min (Centrifuge 5810 R, Eppendorf, AG, Hamburgo, Alemania). El sobrenadante fue decantado para separarlo del sedimento y la ganancia de peso en las harinas se expresó como porcentaje de la capacidad de absorción de aceite, como se muestra en la ecuación 3.

$$CRG = \left(\frac{PS-PM}{PM} \right) \times 100 \dots\dots\dots(\text{Ec. 3})$$

Donde:

CRG= Capacidad de retención de aceite

PS= Peso del sedimento

PM= Peso de la muestra

3.3.5.3. Absorción de agua e índice de solubilidad

Para la determinación de la absorción de agua y el índice de solubilidad de HC y HP se utilizó como guía el método descrito por Kesselly et al. (2023). Muestras de 3 g de HC y HP fueron colocadas de manera separada en tubos Falcon de 50 mL y se le añadieron 25 mL de agua destilada a cada uno. Posteriormente se colocaron en un baño de agua a 90 ± 1 °C durante 15 min. La pasta cocida resultante se enfrió a temperatura ambiente y se centrifugó (Centrifuge 5810 R, Eppendorf, AG, Hamburgo, Alemania) a $309 \times g$ durante 20 min. El sobrenadante se decantó y se vació en una caja Petri previamente puesta a peso constante. El peso de sólidos en el sobrenadante se obtuvo al evaporar el agua hasta que el peso del sedimento llegó a peso constante utilizando una estufa (modelo HCF-62, Riossa Digital, Ciudad de México, México) a 105 ± 1 °C. El índice de absorción de agua y la solubilidad en agua se calcularon utilizando las ecuaciones 4 y 5 respectivamente.

$$IAA = \left(\frac{PS}{PM}\right) \dots \dots \dots (\text{Ec. 4})$$

Donde:

IAA: Índice de absorción de agua

PS: Peso del sedimento

PM: Peso de la muestra

$$ISA = \left(\frac{PSD}{PM}\right) \dots \dots \dots (\text{Ec. 5})$$

Donde:

ISA: Índice de absorción de agua

PSD: Peso de sólidos disueltos en el sobrenadante

PM: Peso de la muestra

3.3.5.4. Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento fue obtenido siguiendo el método propuesto por Kesselly et al. (2023). Se pesó una muestra de 0.5 g de HC y HP y se colocaron por separado en un tubo Falcon de 50 mL, posteriormente se mezclaron con 25 mL de agua destilada y se colocaron en calentamiento en un baño de agua a 60 ± 1 °C durante 30 min con agitación suave.

Posteriormente las muestras fueron centrifugadas (Centrifuge 5810 R, Eppendorf, AG, Hamburgo, Alemania) a $352 \times g$ durante 15 min. El sedimento fue pesado después de separar el sobrenadante para calcular el poder de hinchamiento en HC y HP sustituyendo los resultados obtenidos en la ecuación 6.

$$PH = \left(\frac{PS}{PM} \right) \dots \dots \dots (\text{Ec. 6})$$

Donde:

PH: Poder de hinchamiento

PS: Peso del sedimento (peso húmedo)

PM: Peso de la muestra

3.3.6. Actividad antioxidante

3.3.6.1. Capacidad de captación de radicales DPPH

La capacidad de captación de radicales DPPH de HC y HP fueron determinadas siguiendo la metodología propuesta por Ahmed et al. (2022) con ligeras modificaciones. Empleando el radical libre DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo) (Sigma-Aldrich México, Toluca, Estado de México, México). La reacción se realizó agregando 30 μL del extracto de harina de HC y HP con 1470 μL de metanol y 1500 μL de solución de DPPH 0.1 mM en un tubo Eppendorf de 5mL para cada extracto de harina. Los tubos Eppendorf se mezclaron hasta que el extracto se disolvió en metanol y se dejaron incubar durante 30 min en la oscuridad para evitar cualquier exposición a la luz. Una vez transcurrido el tiempo de reacción se midió la absorbancia en un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, Estados Unidos) a una absorbancia de 517 nm. El blanco se preparó utilizando 30 μL de agua destilada en lugar del extracto. La capacidad de captación de radicales DPPH se calculó de acuerdo con la ecuación 7.

$$(\%) \text{inhibición DPPH} = \left(\frac{Abs_{\text{control}} - Abs_{\text{extracto}}}{Abs_{\text{control}}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (\text{Ec. 7})$$

Donde:

(%) inhibición DPPH= % de actividad captadora del radical DPPH

Abs_{control}= Absorbancia del control

Abs_{extracto}= Absorbancia de la muestra con extracto después de 30 min

3.3.6.2. Capacidad de captación de radicales ABTS

La actividad eliminadora de radicales ABTS en HC y HP se obtuvo siguiendo la metodología descrita por Nazari et al. (2023) con ligeras modificaciones. Se preparó una solución ABTS (7 mM) y se mezcló con persulfato de potasio (2.45 mM), la solución se agitó hasta que la mezcla estuvo completamente diluida en el diluyente (agua destilada). La solución se dejó reposar en oscuridad a temperatura ambiente durante 15 h para alcanzar un nivel oxidativo estable. Una vez transcurrido el tiempo, la solución se diluyó con agua destilada hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Una vez obtenida la solución de ABTS, fueron agregados 600 μL a 150 μL de extractos de HC y HP en viales con capacidad de 5 mL. Se registró la absorbancia usando un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, Estados Unidos) a 734 nm después de 10 min de reacción. Se preparó una curva de calibración de Trolox en un rango de concentración de 0.15 – 8 % v/v. Los resultados obtenidos se expresaron como mg equivalentes de Trolox en 100 g de harina

3.3.7. Análisis Estadístico

Todas las mediciones se realizaron por triplicado y los datos se presentaron como medias $\pm$ desviación estándar. Los datos se procesaron mediante análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y análisis de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0.5$. El análisis de datos se llevó a cabo utilizando el software SPSS (versión 26.0.0.0, Chicago, IL, EE. UU.).

3.4. Resultados y discusión

3.4.1. Caracterización fisicoquímica de HC y HP

3.4.1.1. Análisis químico proximal de HC y HP

El aguacate Hass (*Persea americana* Mill.) es un fruto pequeño (140-360 g) el cual está conformado por pulpa, semilla y cáscara representando el 69.44, 16.67 y 13.89 % p/p, respectivamente (Mora-Sandí et al., 2021). La industria

del aguacate procesa principalmente la pulpa en fresco para extracción de aceites, una vez procesada, las cáscaras y pulpa “agotada” son desechadas, representando del 21 al 30 % del total del peso del fruto (Araújo et al., 2018).

El análisis químico proximal de un alimento comprende la determinación de los porcentajes de humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos solubles y proteína en los alimentos, permitiendo la caracterización desde el punto de vista nutricional para su posible uso en la industria alimentaria o investigación científica en el desarrollo de nuevos productos. El contenido químico proximal de HC y HP se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Contenido químico proximal de HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro (%)	Harina de pulpa desengrasada de aguacate (HP)	Harina de cáscara de aguacate (HC)
Humedad	13.03 ± 0.21 ^a	6.49 ± 0.17 ^b
Cenizas	15.50 ± 0.11 ^a	4.66 ± 0.12 ^b
Proteína Cruda	15.30 ± 0.07 ^a	7.30 ± 0.14 ^b
Extracto Etéreo	7.98 ± 0.05 ^a	7.86 ± 0.26 ^b
Fibra Cruda	14.59 ± 0.58 ^a	33.20 ± 1.37 ^b
*Carbohidratos	33.60 ± 0.01 ^b	40.49 ± 0.01 ^a

*Los carbohidratos fueron calculados por la diferencia de la suma de los componentes -100. Media ± Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una fila son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

La pulpa de aguacate analizada en la presente investigación obtuvo rendimientos en el extracto etéreo de 64.14 ± 0.01 % y sólidos no grasos de 35.54 ± 0.01 % después de ser secada y desengrasada. El contenido de grasa extraído es similar al reportado por Daiuto et al. (2014) al liofilizar pulpa de aguacate Hass y obtener 64.09 ± 1.60 %. La composición proximal obtenida fue comparable con los valores reportados por Sabo et al. (2002) en carbohidratos (43.4 %), proteína (12.8 %) y cenizas (2.5 % p/p).

El análisis químico proximal de la cáscara ha sido investigado por autores como Colombo y Papetti (2019) quienes informaron valores en carbohidratos de 62 a 73.3 %, proteínas de 4 a 8.3 %, lípidos de 4.4 a 9.1 % y cenizas 4 a

6.1 %, los cuales son comparables a los obtenidos en la presente investigación.

La composición química proximal de pulpa y cáscara en el aguacate se ve influenciada por la variedad del cultivo, clima, región del cultivo, nivel de madurez, patrones de lluvia y genética de la fruta (Araújo et al., 2018). En esta investigación se determinó que la cantidad de cenizas, proteínas y carbohidratos resultaron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). HP presentó un mayor contenido de cenizas y proteínas (10.8 % y 8.0 %, respectivamente), mientras que la concentración de carbohidratos en HC fue 7.0 % mayor que en HP. El contenido químico proximal obtenido en HC y HP hacen posible su consideración para su uso como aditivos o ingredientes en la industria alimentaria debido a la cantidad de nutrientes que existen en su composición.

3.4.1.2. Contenido de compuestos fenólicos totales en HC y HP

La prueba de Folin Ciocalteu es una prueba en la cual se determina el contenido fenólico total de las muestras basándose en la capacidad que presentan los grupos hidroxilo al asociarse con sustancias fenólicas de los extractos presentes en las muestras (Qadir y Wani, 2023).

El contenido fenólico total (CFT) en los extractos de HC y HP se presenta en el Cuadro 5 donde se muestra diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre ambas concentraciones. El extracto obtenido de HC fue 42.4 % mayor a la concentración de CTF obtenido en HP.

Cuadro 5. Contenido fenólico total de los extractos de HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Fuente	mEAG/100 g peso seco
HC	2,202.6 $\pm$ 75.4 ^a
HP	1,269.2 $\pm$ 6.9 ^b

Media $\pm$ Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El CFT del extracto de HC es comparable con lo reportado por Jiménez et al. (2020) quienes obtuvieron una concentración de 2,937 mg EAG/100 g, al igual que los valores informados por Calderón-Oliver et al. (2016) (1,970 mg EAG/100 g), evidenciando la capacidad que tiene HC como fuente de

compuestos fenólicos al ser mayor que la reportada en otros subproductos como la fresa, durazno y melón con concentraciones de fenoles totales de 1,460, 1,760 y 1,510 mg EAG/100 g, respectivamente (Arias et al., 2022). La cantidad de CFT obtenidos en pulpa en esta investigación resultaron similares a los informados por Oboh (2014) (1,681 mg EAG/100 g); sin embargo, la determinación del contenido de compuestos bioactivos como los fenoles se pueden ver afectados por diferentes factores como el tratamiento de la pulpa, estado de maduración y solvente utilizado para la extracción (Jiménez et al., 2021). Diversos estudios muestran que los subproductos del fruto del aguacate presentan concentraciones elevadas de compuestos polifenólicos, los cuales pueden ser aprovechados por la industria alimentaria, con el objetivo de retrasar el daño oxidativo de los lípidos que contribuyen al enranciamiento de los alimentos (Nyakang'i et al., 2023).

3.4.1.3. Determinación de color en HC y HP

El color en HC y HP se determinó por el sistema triestímulo de Hunter utilizando los parámetros (CIE L*, a* y b*) indicando la siguiente información: L* define el rango de luminosidad de 0 (oscuridad) a 100 (luminosidad); en el eje a* (rojo-verde) los valores positivos muestran tonalidades rojizas mientras que los valores negativos muestran tonos verdes, mientras que para b* (amarillo-azul) los valores positivos representan tonalidades amarillas y los valores negativos a los azules (McGuire, 1992). Los datos obtenidos en la determinación de color se presentan en la Cuadro 3.

Cuadro 6. Color en HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro	Harina de cáscara de aguacate	Harina de pulpa de aguacate
	HC	HP
L*	41.26 ± 0.15 ^b	64.16 ± 0.12 ^a
a*	5.13 ± 0.08 ^a	3.49 ± 0.05 ^b
b*	11.70 ± 0.15 ^b	21.25 ± 0.10 ^a

Media ± Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una fila son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El color mostró diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre ambas harinas en los parámetros de color L*, a* y b*. El parámetro L* en HP resultó 35.7 % mayor que la obtenida en HC, debido al color oscuro presente en la cáscara característico de la variedad Hass como resultado de cambios

enzimáticos e hidrólisis que degradan la clorofila y fitol, afectando de esta forma los valores de luminosidad (Márquez et al., 2016). Estos cambios en la concentración de clorofila afectan de igual manera los valores en b^* , en donde HP es 45 % mayor que HC, según lo informado por Wang et al. (2010) la cáscara contiene una concentración de clorofila 1.0 % mayor que la pulpa; sin embargo, al tratarse de un compuesto bioactivo, el contenido está influenciado por la madurez fisiológica del fruto y el método empleado en el secado (Nyakang'i et al., 2023). Por otro lado, Cox et al. (2004) atribuyen la disminución en la concentración de clorofila en la cáscara debido al aumento en la síntesis de cianidina 3-O-glucósido, provocando la generación de colores verdes opacos. En el eje a^* HC difiere estadísticamente ($p \leq 0.05$) debido a que es 68 % mayor que HP, según lo descrito por Wang et al. (2010) la clorofila y los carotenos son los pigmentos responsables del color en el aguacate Hass, en donde la cáscara posee un contenido 46.7 % mayor de carotenos que la pulpa, los cuales son responsables de colores amarillos, anaranjados y rojos en diferentes frutas y verduras (Nabi et al., 2023), por lo tanto, influyen en los valores de a^* obtenidos en HC y la diferencia respecto a HP.

3.4.2. Caracterización funcional de HC y HP

3.4.2.1. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) representa la cantidad de agua que permanece en la harina hidratada luego de la aplicación de una fuerza externa (presión o centrifugación), siendo afectada por el tamaño de partícula, porosidad, hidrofobicidad y temperatura de medición (Figuerola et al., 2005). CRA es un parámetro usado en la caracterización funcional de harinas, debido a que es un indicador del rendimiento de masas frescas (Qadir y Wani, 2023). En el Cuadro 7 se pueden observar los resultados de CRA en HC y HP.

Cuadro 7. Capacidad de retención de agua en HC y HP de aguacate (*Persea americana* Mill.).

Fuente	Capacidad de retención de agua (p/p)
HC	2.33 ± 0.01^b
HP	5.58 ± 0.01^a

Los resultados se expresan como los gramos de agua contenidos en un gramo de harina p/p. Media $\pm$ Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los valores obtenidos en HC y HP son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$), debido a que la CRA en HP es 2.4 veces mayor que HC; sin embargo, tienen mejores propiedades de retención que las reportadas por otros investigadores como Mérida Lira et al. (2023) al informar valores en harinas de trigo y semillas de papaya (1.26 ± 0.01 y 1.70 ± 0.01 p/p, respectivamente), por otro lado, HP mostró un índice de CRA comparable al de harina de manzana (4.7 ± 0.01 p/p) según lo informado por Macedo et al. (2023). La diferencia en CRA entre HC y HP está relacionada con la composición química presente en las harinas y la cantidad de compuestos hidrófilos como polisacáridos y aminoácidos polares, que, dependiendo de su disponibilidad, accesibilidad e interacción con las moléculas de agua a su alrededor, determinará si las harinas poseen un CRA alta o baja (Gull et al., 2015).

3.4.2.2. Capacidad de absorción de aceite

La CRG es un parámetro necesario para la caracterización funcional de las harinas al proporcionar información sobre la capacidad que poseen para retener grasas; una harina con alta capacidad de retención de grasa retiene de mejor manera el sabor y mejora el rendimiento del producto cocido (Raghavendra et al., 2006). En el Cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos para CRG en HC y HP.

Cuadro 8. Capacidad de retención de aceite en HC y HP de aguacate (*Persea americana* Mill.).

Fuente	Capacidad de retención de aceite (p/p)
HC	2.15 ± 0.02^a
HP	2.48 ± 0.05^b

Los resultados se expresan como los gramos de aceite contenidos en un gramo de harina p/p. Media $\pm$ Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El índice de CRG difirió estadísticamente ($p \leq 0.05$), debido a que HP es 1.2 veces mayor que HC; sin embargo, muestra mejor índice que los informados en harinas de trigo, zanahoria y plátano (1.30 ± 0.01 , 1.20 ± 0.01 p/p y 1.70 ± 0.09 g/g respectivamente). Por otro lado, HP posee un índice de CRG mayor que el reportado en harinas de plátano de las variedades Mehersagar y Sabri de 2.22 ± 0.10 y 1.83 ± 0.10 , respectivamente (Alam et al., 2023). La diferencia en los valores obtenidos en CRA de HC y HP, esta influenciada por la

permeabilidad de las harinas al aceite, la cual está relacionada con la cantidad de cadenas laterales no polares presentes en las proteínas y a la estructura química de los polisacáridos vegetales presentes en la cáscara y la pulpa de aguacate (Mérida Lira et al., 2023; Viuda-Martos et al., 2012; Fernández-López et al., 2009).

3.4.2.3. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad

El índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad (IS) son parámetros necesarios para evaluar el uso de las harinas como estabilizantes debido a la relación que tienen con la habilidad de retener y atrapar agua (Godoy Bonilla et al., 2016). Por un lado, el IAA es un parámetro utilizado para medir la capacidad que tienen las harinas para absorber agua y formar masas viscoelásticas, relacionando el IAA con la morfología y el procesamiento que se le ha dado a una harina (Sacón-Vera et al., 2016; Rodríguez Sandoval et al., 2012). Por otro lado, el IS es la cantidad de sólidos que son disueltos por el agua y se mantienen en suspensión (Dussán-Sarria et al., 2019; Šarić et al., 2019). En el Cuadro 9 se pueden observar los resultados de IS e IAA en HC y HP.

Cuadro 9. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en HC y HP de aguacate (*Persea americana* Mill.).

Fuente	Índice de solubilidad de agua %(p/p)	Índice de absorción de agua %(p/p)
HC	5.09 ± 0.24 ^a	2.29 ± 0.02 ^b
HP	22.14 ± 0.72 ^b	7.76 ± 0.01 ^a

El índice de solubilidad de agua se expresa como porcentaje de gramos de la harina disuelta en un gramo de agua y el índice de absorción de agua se expresa como gramos de harina contenida en un gramo de agua. Media ± Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los valores obtenidos de solubilidad resultaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes, debido a que HP resultó 4.3 veces más soluble en agua que HC, sin embargo, obtuvo un IS mayor a los reportados en harinas de *D. alata* KA, *D. alata*-H y *N.nucifera* (2.55 ± 0.02 , 2.81 ± 0.01 y 3.30 ± 0.09 %, respectivamente) (Chiranthika et al., 2022), mientras que HP demostró tener valores similares a los reportados en harinas de arveja y semillas de bacupari maduras (19.5 ± 2.65 y 16.41 ± 1.85 0.0 %, respectivamente) (Tulu et al., 2023;

Melo et al., 2023). De igual manera el IAA obtenido en esta investigación difirió estadísticamente ($p \leq 0.05$), debido a que HP resultó 3.9 veces mayor que en HC; sin embargo, tiene un índice de absorción similar a las harinas de frambuesa y arándano (3.07 ± 0.05 y 2.10 ± 0.07 % p/p, respectivamente) (Šarić et al., 2019), mientras que HP posee una capacidad absorbente comparable con la harina de avena y salvado de avena de 6.80 ± 0.07 y 7.22 ± 0.10 % p/p, respectivamente (Duță y Culețu, 2015). HC obtuvo resultados de IAA e IS inferiores respecto a HP, debido a la diferencia en la composición química proximal y la cantidad de biocompuestos disponibles como proteínas y carbohidratos, los cuales interactúan electrostáticamente con las moléculas de agua provocando su atrapamiento dentro de la harina (Dussán-Sarria et al., 2019; Godoy Bonilla et al., 2016).

3.4.2.4. Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento (PH) es un parámetro relacionado con la cantidad de fibra dietética insoluble presente en los tejidos vegetales, debido a que es la responsable de aportar las características estructurales para retener agua y en función de esa propiedad absorbente medir la capacidad que tiene una harina para aumentar su tamaño (Alam et al., 2023; Navarro-González et al., 2011). En el Cuadro 10 se muestran los resultados de PH en HC y HP.

Cuadro 10. Poder de hinchamiento en HC y HP de aguacate (*Persea americana* Mill.).

Fuente	Poder de hinchamiento (p/p)
HC	2.15 ± 0.02^b
HP	2.48 ± 0.05^a

Media $\pm$ Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los resultados mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre las harinas, debido a que HP es 1.2 veces mayor que en HC. Sin embargo, ambas harinas obtuvieron mejores resultados en el índice PH al compararse con harina trigo y harina de trigo adicionada con fibra de zanahoria de 1.27 ± 0.02 , 1.39 ± 0.02 p/p, respectivamente (Ahmad et al., 2016).

La diferencia en el índice de PH entre HC y HP puede ser debido al contenido de proteínas y carbohidratos y la manera en la que influyen en el aumento de

volumen de las harinas, el cual está relacionado con la capacidad que presentan los aminoácidos y polisacáridos presentes en el tejido vegetal de la cáscara y pulpa de aguacate, para interactuar con las moléculas circundantes de agua, propiedad que puede ser aprovechada por el sector industrial para el desarrollo de nuevos productos (Chau et al., 2004).

3.4.3. Actividad antioxidante en HC y HP

3.4.3.1. Ensayo DPPH

Los antioxidantes son fitoquímicos que se encuentran dentro los frutos y sirven para protegerlos contra el daño oxidativo, el cual es el responsable de la pérdida del valor comercial y nutricional (Mardigan et al., 2019). El principio básico de esta prueba implica la reducción del radical DPPH tras la aceptación de electrones de los grupos -OH del compuesto antioxidante, causando la conversión del radical DPPH en hidrazina (Qadiry Wani, 2023). Los resultados obtenidos en HC y HP se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Actividad de eliminación de radicales DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) en HC y HP de aguacate.

Fuente	Porcentaje de Inhibición de DPPH (%)
HC	78.90 ± 1.64 ^a
HP	70.78 ± 2.36 ^b

Media ± Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos en el ensayo mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) debido a que HC posee una capacidad reductora 8.1 % mayor que HP. La capacidad reductora de HC está relacionada con la concentración de flavonoides, los cuales son potentes estabilizadores de radicales libres (Burda y Oleszek., 2001). Los valores obtenidos en HC fueron similares a los publicados por Salazar-López et al. (2020), quienes obtuvieron un porcentaje de inhibición en cáscara de aguacate de 79.4 ± 0.01 %. Por otro lado, los resultados en HP fueron comparables a los reportados por Dal-Bó y Freire (2022) (61 ± 0.05 %) y Abd Elkader et al. (2022) (72 ± 0.74 %), ambos trabajos realizados en pulpa deshidratada de aguacate Hass. Según lo informado por Salazar-López et al. (2020), principalmente son dos los flavonoides responsables de la actividad antioxidante en aguacate Hass: la epicatequina

y las agliconas de catequina, ambas moléculas presentes en la cáscara (30.4 a 40.2 mg/g peso seco y 0.15 mg/g peso seco, respectivamente), mientras que en la pulpa solo se encuentra la epicatequina con una concentración de 0.0004 a 0.05 mg/g (peso seco). La diferencia en la concentración de estos flavonoides pudo haber influido en la actividad antioxidante obtenida en HC y HP.

3.4.3.2. Ensayo ABTS

La actividad antioxidante en HC y en HP se puede analizar haciendo uso de diferentes técnicas que evalúen la capacidad de los compuestos fenólicos presentes en las harinas para estabilizar radicales sintéticos como: DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) y ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (Arackal y Parameshwari, 2021). Los compuestos fenólicos contenidos en los vegetales son los principales responsables de la actividad antioxidante y son usados la industria alimentaria para ralentizar la formación de oxígeno reactivo y de esta manera conservar la vida útil y calidad nutricional de los alimentos (Daiuto et al., 2014; Frankel, 1996). Los resultados obtenidos en la prueba de ABTS se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Actividad de eliminación de radicales ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) en HC y HP de aguacate.

Fuente	ABTS ($\mu\text{mol ET/g}$)
HC	802.47 $\pm$ 21.08 ^a
HP	41.80 $\pm$ 2.86 ^b

Media $\pm$ Desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los resultados difirieron estadísticamente ($p \leq 0.05$) entre sí, debido a que HC posee una capacidad antioxidante 5.2 veces mayor que HP, investigaciones previas al evaluar los diferentes componentes del aguacate han evidenciado tendencias similares a las obtenidas en esta investigación. Se ha evidenciado que la actividad antioxidante de los compuestos en los componentes de aguacate Hass, se puede presentar en el siguiente orden de mayor a menor: hojas > cáscara > semilla > pulpa; esta predisposición está influenciada por el contenido de fenoles como: catequina, epicatequina, leucoantocianidina, triterpenos, ácido furoico y proantocianidina (Salazar-López et al., 2020;

Bhuyan et al., 2019; Wang et al., 2010).

Los valores obtenidos en este estudio son comparables con los reportados por Daiuto et al. (2014) quienes analizaron las cáscaras y pulpa de aguacate Hass liofilizados, reportando un contenido de 791.5 ± 35.9 y 15.2 ± 1.2 $\mu\text{mol ET}$, respectivamente. La actividad antioxidante y la diferencia obtenida en el ensayo esta influenciado al CFT presente en cada harina y al estado de maduración del fruto, según lo informado por López-Cobo et al. (2016), la actividad de la enzima fenilalanina amonio-liasa y la hidrólisis de taninos complejos incrementa el contenido fenólico y en consecuencia la actividad antioxidante, sin embargo, aún con el estado de maduración avanzado, la cáscara posee una actividad antioxidante mayor respecto a la pulpa, debido al contenido de procianidinas resultantes del proceso de hidrólisis.

3.5. Conclusiones

Las harinas evaluadas en este estudio aportan porcentajes significativos de proteína de 7.30 ± 0.07 a 15.50 ± 0.07 , cenizas de 4.66 ± 0.12 a 15.50 ± 0.11 , fibras de 14.59 ± 0.58 a 33.20 ± 1.370 , extracto etéreo de 7.98 ± 0.05 a 7.86 ± 0.26 y carbohidratos de 33.60 ± 0.01 a 40.49 ± 0.01 , característicos de las harinas de cáscara de frutas tropicales.

En este estudio se demostró la capacidad que tienen las harinas para ser usadas como antioxidantes naturales, debido a que HC obtuvo un contenido fenólico total 8.2 veces mayor que HP; sin embargo, ambas harinas pueden incrementar la actividad antioxidante y ser usados como agentes bioactivos al ser añadidos a un alimento.

3.6. Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo económico brindado durante estos dos años de estudio, al Departamento de Preparatoria Agrícola y al Departamento de Ingeniería Agroindustrial por facilitar los materiales requeridos en esta investigación.

3.7. Literatura citada

- Abd Elkader, A.M., Labib, S., Taha, T.F., Althobaiti, F., Aldahrani, A., Salem, H.M., Saad, A., & Ibrahim, F.M. (2022). Phytochemical compounds of avocado extracts (*Persea americana* L.); antioxidant activity, amylase inhibitory activity, therapeutic potential of type 2 diabetes. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1428–1433. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.031>
- Ahmad, M., Wani, T.A., Wani, S.M., Masoodi, A.F., & Gani, A. (2016). Incorporation of carrot pomace powder into wheat flour: effect on the characteristics of flour, dough and biscuit. *Journal of Food Science and Technology*, 53(10), 3715–3724. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2345-2>
- Ahmed, M., Ali, A., Sarfraz, A., Qin, H., & Hu, B. (2022). Effect of Freeze-Drying on Apple Pomace and Pomegranate Peel Powders Used as a Source of Bioactive Ingredients for the Development of Functional Yogurt. *Journal of Food Quality*, 2022, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/3327401>
- Alam, S., Biswas, M., Hasan, M. M., Hossain, M. F., Zahid, M., Reza, M. S. A., & Islam, T. (2023). Quality attributes of the developed banana flour: effects of drying methods. *Heliyon*, 9(7), e18312. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18312>
- AOAC INTERNATIONAL. (2023). Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL: 3-Volume set (G. W. Latimer Jr, Ed.; 22a ed.). Oxford University Press.
- Arackal, J.J., & Parameshwari, S. (2021). Identification of the antioxidant activity and shelf life assay of chapatis incorporated into avocado fruit pulp. *Materials Today: Minutes*, 45, 2589–2594. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.337>
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E. y Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Arias, A., Feijoo, G., & Moreira, M. (2022). Exploring the potential of antioxidants in fruits and vegetables and strategies for their recovery. *Innovative Food Science and Emerging Technologies: IFSET: Official Scientific Journal of the European Federation of Food Science and Technology*, 77 (102974), 102974. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102974>
- Bhuyan, Alsherbiny, Perera, Low, Basu, Devi, Barooah, Li and Papoutsis. (2019). The Odyssey of the Bioactive Compounds of the Avocado (*Persea americana*) and its Health Benefits. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 8(10), 426. <https://doi.org/10.3390/antiox8100426>
- Burda, S., & Oleszek, W. (2001). Antioxidant and anti-radical activities of flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2774–2779. <https://doi.org/10.1021/jf001413m>

- Calderón-Oliver, M., Escalona-Buendía, H. B., Medina-Campos, O. N., Pedraza-Chaverri, J., Pedroza-Islas, R., & Ponce-Alquicira, E. (2016). Optimization of the antioxidant and antimicrobial response of the combined effect of nisin and avocado byproducts. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.048>
- Chau, CF-F., Chen, C.-H. and Lee, M.-H. (2004). Comparison of the characteristics, functional properties, and hypoglycemic effects in vitro of various fractions rich in insoluble carrot fiber. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food Science and Technology]*, 37(2), 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.08.001>
- Chiranthika, N.N., Chandrasekara, A., & Gunathilake, KDPP (2022). Physicochemical characterization of meals and starches derived from selected crops of underutilized roots and tubers grown in Sri Lanka. *Food Hydrocolloids*, 124 (107272), 107272. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107272>
- Colombo, R., & Papetti, A. (2019). Avocado by-products (*Persea americana* Mill.) and their impact: from bioactive compounds to biomass energy and absorbent material to remove pollutants. A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 943–951. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14143>
- Cox, K.A., McGhie, T.K., White, A., & Woolf, A.B. (2004). Changes in skin color and pigmentation during ripening of the 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31(3), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.008>
- Cruz-López, D. F., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G., & Reza Salgado, J. (2022b). Competitividad de las exportaciones de aguacate Hass de México en el mercado mundial. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 355–362. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2885>
- Daiuto, É. R., Tremocoldi, M. A., Alencar, S. M. de, Vieites, R. L., & Minarelli, P. H. (2014). Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate “Hass”. *Revista brasileira de fruticultura*, 36(2), 417–424. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-102/13>.
- Dal-Bó, V., & Freire, J.T. (2022). Effects of freeze-drying on colorimetric indices, phenol content and antioxidant activity of avocado pulp (*Persea americana*). *Food control*, 132 (108526), 108526. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108526>
- Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, DL & Camacho-Tamayo, JH (2019). Granulometry, Functional Properties and Color Properties of Quinoa and Chontaduro Flours. *CIT Information Technology*, 30(5), 3–10. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500003>
- Duță, D. E., & Culețu, A. (2015). Evaluation of rheological, physicochemical, thermal, mechanical and sensory properties of oat-based gluten free cookies. *Journal*

of Food Engineering, 162, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.002>

- Fernández-López, J., Sendra-Nadal, E., Navarro, C., Sayas, E., Viuda-Martos, M., & Alvarez, J. A. P. (2009). Storage stability of a high dietary fibre powder from orange by-products. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(4), 748–756. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01892.x>
- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91(3), 395–401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.036>
- Frankel, E. N. (1996). Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality. *Food Chemistry*, 57(1), 51–55. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(96\)00067-2](https://doi.org/10.1016/0308-8146(96)00067-2).
- Godoy Bonilla, SP, Lemos Materón, C., & López Gómez, AY (2016). Protein availability of an instant drink from banana flour (*Musa paradisiaca* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). *Colombian Journal of Agroindustrial Research*, 3, 76. <https://doi.org/10.23850/24220582.344>
- Gondim, JAM, Moura, M. de FV, Dantas, AS, Medeiros, RLS & Santos, KM (2005). Centesimal and mineral composition in fruit shells. *Food Science and Technology*, 25(4), 825–827. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612005000400032>
- Gull, A., Prasad, K., & Kumar, P. (2015). Effect of millet flours and carrot pomace on cooking qualities, color and texture of developed pasta. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 63(1), 470–474. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.008>
- Ijabadeniyi, O. A., Naidoo, K., Oyedele, A. B., Oyeyinka, S. A., & Ogundele, O. M. (2022). Nutritional, functional, and pasting properties of maize meal-sprouted soybean flour enriched with carrot powder and sensory properties of the porridge. *Measurement: Food*, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2022.100074>
- Jiménez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., Garcia-Díaz, D. F., Robert, P., Encina, C., & Soto-Covasich, J. (2020). 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>
- Kesselly, S. R., Mugabi, R., & Byaruhanga, Y. (2023). Effect of soaking and extrusion on functional and pasting properties of cowpeas flour. *Scientific African*, 19, e01532. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01532>
- King-Loeza, Y., Ciprián-Macías, D. A., Cardador-Martínez, A., Martín-del-Campo, S. T., Castañeda-Saucedo, M. C., & Ramírez-Anaya, J. del P. (2023). Functional composition of avocado (*Persea americana* Mill. Var Hass) pulp, extra virgin oil, and residues is affected by fruit commercial classification. *Journal of*

- Licona-Aguilar, Á. I., Lois-Correa, J. A., Torres-Huerta, A. M., Domínguez-Crespo, M. A., Urdapilleta-Inchaurregui, V., Rodríguez-Salazar, A. E., & Brachetti-Sibaja, S. B. (2023). Production of dietary cookies based on wheat-sugarcane bagasse: Determination of textural, proximal, sensory, physical and microbial parameters. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 184(115061), 115061. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115061>
- López-Cobo, A., Gómez-Caravaca, A.M., Pasini, F., Caboni, M.F., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2016). HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS and HPLC-FLD-MS as valuable tools for the determination of phenolic compounds and other polar compounds in the edible part and by-products of avocado. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food Science and Technology]*, 73, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.049>
- Macedo, M. C. C., Correia, V. T. da V., Silva, V. D. M., Pereira, D. T. V., Augusti, R., Melo, J. O. F., Pires, C. V., de Paula, A. C. C. F. F., & Fante, C. A. (2023). Development and Characterization of Yellow Passion Fruit Peel Flour (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Metabolites*, 13(6), 684. <https://doi.org/10.3390/metabo13060684>
- Mardigan, L.P., Santos, VJ dos, Silva, PT da, Visentainer, J.V., Gomes, STM, & Matsushita, M. (2019). Research of bioactive compounds of various avocado varieties (*Persea americana* Miller). *Food Science and Technology*, 39 (Supplement 1), 15-21. <https://doi.org/10.1590/fst.34817>
- Márquez, C., Yepes, D., Sanchez, L., & Osorio, J. (2016). Physico-chemical changes of avocado (*Persea americana* Mill. cv. "Hass") in post-harvest for two municipalities in Antioquia. *Agrarian Issues*, 19(1), 32–47. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.723>
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 27(12), 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>
- Melo, J. O. F., Pires, C. V., de Paula, A. C. C. F. F., & Fante, C. A. (2023). Development and Characterization of Yellow Passion Fruit Peel Flour (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Metabolites*, 13(6), 684. <https://doi.org/10.3390/metabo13060684>
- Mérida Lira, E., Soto Simental, S., Martínez Juárez, V. M., Quintero Lira, A., & Piloni Martini, J. (2023). Proximate chemical, functional, and texture characterization of papaya seed flour (*Carica papaya*) for the preparation of bread. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 31(100675), 100675. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100675>
- Mora-Sandí, A., Ramírez-González, A., Castillo-Henríquez, L., Lopretti-Correa, M., & Vega-Baudrit, J. R. (2021). Agroindustrial Avocado (*Persea americana*) Waste

Biorefinery. En Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202104.0077.v1>

- Nabi, B. G., Mukhtar, K., Ahmed, W., Manzoor, M. F., Ranjha, M. M. A. N., Kieliszek, M., Bhat, Z. F., & Aadil, R. M. (2023). Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. *Food Bioscience*, 52(102403), 102403. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102403>
- Navarro-González, I., García-Valverde, V., García-Alonso, J., & Periago, M. J. (2011). Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. *Food Research International*, 44(5), 1528–1535. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.005>
- Nazari, A., Zarringhalami, S., & Asghari, B. (2023). Influence of germinated black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds extract on the physicochemical, antioxidant, antidiabetic, and sensory properties of yogurt. *Food Bioscience*, 53(102437), 102437. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102437>
- Nyakang'i, C. O., Ebere, R., Marete, E., & Arimi, J. M. (2023). Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels) functionality and utilization in food products. *Applied Food Research*, 3(1), 100275. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>
- Oboh, G.; Isaac, A. T.; Akinyemi, A. J.; Ajani, R. A. (2014). Inhibition of Key Enzymes Linked to Type 2 Diabetes and Sodium Nitroprusside Induced Lipid Peroxidation in Rats' Pancreas by Phenolic Extracts of Avocado Pear Leaves and Fruit. *Int. J. Biomed. Sci.* 2014, 10(3), 208–216.
- Qadir, N., & Wani, I. A. (2023). Functional properties, antioxidant activity and in-vitro digestibility characteristics of brown and polished rice flours of Indian temperate region. *Grain & Oil Science and Technology*, 6(1), 43–57. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2022.12.001>
- Raghavendra, S. N., Ramachandra Swamy, S. R., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Kumar, S., & Tharanathan, R. N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 281–286. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.008>
- Rodríguez Sandoval, E., Universidad Nacional de Colombia, Lascano, A., Sandoval, G., Universidad Técnica de Ambato y Universidad Técnica de Ambato. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinua y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista Udca Actualidad & Divulgacion Científica*, 15 (1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.817>
- Sabo, E., Naveh, E., Werman, M. J., & Neeman, I. (2002). Research communication: Defatted avocado pulp reduces body weight and total hepatic fat but increases plasma cholesterol in male rats fed diets with cholesterol. *The Journal of Nutrition*, 132(7), 2015–2018. <https://doi.org/10.1093/jn/132.7.2015>

- Sacón-Vera, E. F., Bernal-Bailón, I. I., Dueñas-Rivadeneira, A. A., Cobeña-Ruíz, G. A., & López-Bello, N. (2016). Rheology of mixtures of sweet potato and wheat flours to make bread. *Chemical Technology*, 36(3), 384–394. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852016000300011&script=sci_arttext&lng=pt
- Salazar-López, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E., & González-Aguilar, G. A. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138(109774), 109774. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>
- Šarić, B., Dapčević-Hadnađev, T., Hadnađev, M., Sakač, M., Mandić, A., Mišan, A., & Škrobot, D. (2019). Fiber concentrates from raspberry and blueberry pomace in gluten-free cookie formulation: Effect on dough rheology and cookie baking properties. *Journal of Texture Studies*, 50(2), 124–130. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12374>
- Tulu, E. D., Duraisamy, R., Kebede, B. H., & Tura, A. M. (2023). Anchote (*Coccinia abyssinica*) starch extraction, characterization and bioethanol generation from its pulp/waste. *Heliyon*, 9(3), e14320. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14320>
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Martín-Sánchez, A. M., Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., & Navarro, C. (2012). Chemical, physico-chemical and functional properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) Bagasses powder co-product. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 220-224. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.029>
- Wang, W., Bostic, T.R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122(4), 1193–1198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>

4. INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y REOLÓGICAS DE UN YOGUR ADICIONADO CON HARINA DE CÁSCARA Y PULPA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.)

4.1. Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes, microestructurales, reológicas y sensoriales de yogures batidos con 2.2 % de grasa (CG) y reducidos en grasa (1.1 %) con 0 (BG), 0.1 (HC_{0.1} y HP_{0.1}) y 0.3 % p/p (HC_{0.3} y HP_{0.3}) de harina de cáscara (HC) y harina de pulpa desengrasada (HP) como sustitutos de grasa. Los parámetros evaluados variaron significativamente ($p < 0.05$) durante el periodo de almacenamiento de 15 días. La adición de HP aumentó el porcentaje de proteína 1.24 % (HP_{0.3}), mientras que la adición de HC disminuyó el pH de 4.30 ± 0.01 (CG) a 4.15 ± 0.01 (HC_{0.3}). El porcentaje de sinéresis de los yogures adicionados con HP disminuyeron de 9.13 ± 0.12 (BG) a 3.67 ± 0.01 (HP_{0.3}) y exhibieron valores mayores de G' (módulo de almacenamiento) y G'' (módulo de pérdida) respecto a BG. El comportamiento de flujo de los yogures fue descrito por el modelo de Ostwald-de Waele, donde la viscosidad incrementó conforme se aumentó la concentración de HP y HC. Las micrografías mostraron una estructura más densa y con poros más pequeños en HP_{0.3} en comparación a BG donde la red fue menos densa y rodeada por un gran número de poros de suero. El contenido fenólico total aumentó al incrementar la concentración de HC; así, la concentración más alta fue 4.62 ± 0.01 (HC_{0.3}) y la más baja 2.02 ± 0.05 (CG). El yogur con la mayor aceptación global en la evaluación sensorial fue HP_{0.1} (4.30 ± 0.78) respecto a BG (3.34 ± 0.94).

Palabras clave: *Persea americana* Mill., propiedades fisicoquímicas, reología, yogur fortificado y microestructura.

Tesis de Maestría en Ciencia, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Noé Martínez Ledesma

Directora de Tesis: Dra. Landy Hernández Rodríguez

INFLUENCE ON THE PHYSICOCHEMICAL, FUNCTIONAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF A YOGURT ADDED WITH AVOCADO PEEL FLOUR AND PULP (*Persea americana* Mill.)

Abstract

The objective of this research was to determine the physicochemical, antioxidant, microstructural, rheological and sensory properties of yogurts whipped with 2.2 % fat (CG) and reduced fat (1.1 %) with 0 (BG), 0.1 (HC_{0.1} y HP_{0.1}) and 0.3 % w/w (HC_{0.3} y HP_{0.3}) of peel flour (HC) and defatted pulp flour (HP) as fat substitutes. The parameters evaluated varied significantly ($p < 0.05$) during the 15-day storage period. The addition of HP increased the protein percentage 1.24 % (HP_{0.3}), while the addition of HC decreased the pH from 4.30 ± 0.01 (CG) to 4.15 ± 0.01 (HC_{0.3}). The percentage of syneresis of yogurts added with HP decreased from 9.13 ± 0.12 (BG) to 3.67 ± 0.01 (HP_{0.3}) and exhibited higher values of G' (storage modulus) and G'' (loss modulus) compared to BG. The flow behavior of yogurts was described by the Ostwald-de Waele model, where viscosity increased as the concentration of HP and HC increased. Micrographs showed a denser structure with smaller pores at HP_{0.3} compared to BG where the network was less dense and surrounded by a large number of serum pores. The total phenolic content increased with increasing HC concentration; thus, the highest concentration was 4.62 ± 0.01 (HC_{0.3}) and the lowest 2.02 ± 0.05 (CG). The yogurt with the highest overall acceptance in sensory evaluation was HP_{0.1} (4.30 ± 0.78) compared to BG (3.34 ± 0.94).

Key words: *Persea americana* Mill., physicochemical properties, rheology, fortified yogurt and microstructure.

Thesis. Maestría en Ciencia, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Noé Martínez Ledesma
Advisor: Dr. Landy Hernández Rodríguez

4.2. Introducción

El yogur es un producto lácteo obtenido por la fermentación de leche fresca o reconstituida por un cultivo iniciador. Su popularidad ha ido en aumento en todo el mundo debido a los beneficios a la salud que se han asociado a su consumo (Ahmad et al., 2022; Benmeziane et al., 2021). A causa de su creciente popularidad, el yogur se ha considerado como vehículo de compuestos bioactivos debido a la facilidad que posee para la incorporación de bacterias probióticas, prebióticos, fibras dietéticas y otros suplementos como las harinas de subproductos agroindustriales (Ferreira y Santos, 2023; Ahmad et al., 2022; Basiri et al., 2022; Wang et al., 2019).

En años recientes se ha observado un incremento en la industrialización del aguacate causado por el aumento en la demanda de productos como: puré, guacamole, rodajas congeladas y aceite (refinado o prensado en frío), que a su vez genera una cantidad considerable de subproductos, debido a que las cáscaras, pulpa desengrasada y semillas representan del 21 al 30 % del peso total del fruto (Acquavia et al., 2023; King-Loeza et al., 2023; Nyakang'i et al., 2023; Arackal y Parameshwari, 2021; Araújo et al., 2018). Los subproductos del aguacate poseen compuestos bioactivos como glucósidos de quercetina, dímeros de procianidina (tipo A y B), trímeros de procianidina (tipo A), catequina, ácido cafeoilquínico, ácido cumaroilquínico (Araújo et al., 2018). La cáscara y pulpa desengrasada poseen una fuente importante de compuestos orgánicos como fibra (3.98 y 3.81 %), proteína (3.44 y 12.8 %) y carbohidratos (79.54 y 43.4 %) (Araújo et al., 2018; Daiuto et al., 2014; Sabo et al., 2002). Debido a la composición y contenido de los residuos del aguacate pueden ser considerados para la adición a yogures con el propósito de mejorar su perfil nutricional, comerciabilidad y aceptabilidad por parte de los consumidores. Debido a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar los cambios en las propiedades fisicoquímicas, reológicas, microestructurales, actividad antioxidante y atributos sensoriales de yogures batidos adicionados con harina de cáscara y pulpa desengrasada obtenida del aguacate (*Persea americana* Mill.).

4.3. Materiales y métodos

4.3.1. Ubicación del trabajo

El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnología de los Alimentos, ubicado en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

4.3.2. Muestras y reactivos

Las muestras de aguacate (*Persea americana* Mill.) fueron colectadas en el municipio de Santa Clara del Cobre, Michoacán, México (19°24'20'' N, 101°38'23'' 2232 m.s.n.m) y fueron adquiridas por la comercializadora Frutas Finas de Valles de Michoacán, S.A. de C.V. (Ciudad de México, México).

Para la elaboración del yogur, se utilizó leche entera en polvo (NIDO ®, Nestlé S.A. de C.V. México), leche descremada en polvo (Lone Star, Dairy Products S.A. de C.V. Michigan, Estados Unidos), azúcar refinada (Great Value ®, Walmart, S.A. de C.V. México) y cultivo láctico liofilizado de inoculación directa constituido por *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* (CHOOZIT MY 800-5 DCU, Danisco Francia SAS 220 Dange Saint Romain, Francia).

Los reactivos analíticos ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS), 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH), ácido gálico, hexano, Folin-Ciocalteu y persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (Sigma Chemical Co., St. Louis, Misuri, Estados Unidos). Los reactivos analíticos, ácido clorhídrico (HCl), hidróxido de sodio (NaOH), carbonato de sodio (Na_2CO_3) metanol (CH_3OH), etanol (C_2H_6O), cloruro de sodio (NaCl), acetato de etilo ($C_4H_8O_2$), tartrato de sodio y potasio ($KOCO(CHOH)_2COONa \cdot 4H_2O$) y sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 4H_2O$) se adquirieron de Química Meyer® (Química Suastes S.A. de C.V., CDMX, México), todas las evaluaciones y determinaciones se realizaron por triplicado para cada una de las harinas y los resultados se reportaron como media $\pm$ desviación estándar.

4.3.3. Elaboración del yogur fortificado con HC y HP

El yogur batido fue elaborado utilizando la metodología propuesta por Hernández-Rodríguez (2017). Se prepararon dos controles y cuatro tratamientos de yogur de acuerdo con las formulaciones presentadas en la Cuadro 13. Los yogures control se prepararon con dos concentraciones de grasa diferente, un lote de yogur completo en grasa (2.2 % p/p de grasa de leche) y un yogur reducido en grasa (1.1 % p/p de grasa de leche) codificados como CG y BG respectivamente; además, se elaboraron 4 lotes bajos en grasa en el que la grasa de la leche fue reemplazada parcialmente por HC y HP_D en diferentes concentraciones (0.1 y 0.3 % p/p). Los yogures elaborados fueron codificados de la siguiente manera: HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}.

Los yogures batidos fueron elaborados mezclando leche entera en polvo y leche descremada en polvo, azúcar refinada, cultivo láctico liofilizado de inoculación directa constituido por *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* en agua purificada durante 30 min con agitación magnética, siguiendo las proporciones presentadas en la Cuadro 13. Una vez mezclada la leche en polvo entera y descremada con el agua purificada, se dejó reposar en refrigeración a 4 ± 1 ° C por 24 horas para permitir la completa hidratación de la leche en polvo.

Cuadro 13. Formulación para las variaciones de yogur.

Tratamiento	SNG	ST	Leche en polvo		Harina (g)	Agua (g)
			Entera (g)	Descremada (g)		
CG	9.8	12	8.21	3.79	-	88
BG	9.8	12	3.73	8.27	-	88
HC 0.1	9.8	12	3.68	8.22	0.1	88
HC 0.3	9.8	12	3.58	8.12	0.3	88
HP 0.1	9.8	12	3.68	8.22	0.1	88
HP 0.3	9.8	12	3.58	8.12	0.3	88

Todas las formulaciones de leche fueron calentadas a 85 ± 1 ° C por 15 minutos y enfriadas hasta alcanzar una temperatura de 45 ± 1 ° C, para después ser inoculadas con 0.03 g/L del cultivo iniciador (*Streptococcus Thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* y *Lactobacillus*

delbrueckii subsp. *Lactis*); el proceso de fermentación de la leche se llevó a cabo a $45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una acidez de $80 - 85^{\circ}\text{D}$, una vez alcanzada la acidez deseada se almacenaron a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 h. Transcurrido el tiempo de reposo en refrigeración, los yogures fueron retirados de refrigeración y se agitaron suavemente con ayuda de un Caframo (Caframo, RZR1, Vernon Hills, Illinois, Estados Unidos) a 500 rpm durante 1 minuto, una vez terminado de agitar se volvieron a almacenar en refrigeración $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 h. Los yogures se mantuvieron en condiciones de refrigeración hasta que se realizaron las evaluaciones fisicoquímicas, reológicas, microestructurales y capacidad antioxidante.

4.3.4. Caracterización del yogur fortificado con HC y HP

4.3.4.1. Análisis proximal

La composición química se realizó determinando el contenido de proteína por el método Kjeldahl ($\text{N} \times 6.25$) AOAC 954.01, el extracto etéreo por el método de Soxhlet (AOAC 920.39), el porcentaje de cenizas (AOAC 942.05) y fibra cruda (AOAC 991.42) de acuerdo con los procedimientos estándar de la AOAC (2002). El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia usando la ecuación 8.

$$\text{Carbohidratos}(\%) = 100 - \text{Lípidos}(\%) - \text{Proteína}(\%) - \text{Cenizas}(\%) - \text{Fibra}(\%) \dots \dots \dots (\text{Ec. 8})$$

4.3.4.2. Valor de pH, acidez titulable y sinéresis.

Las determinaciones se realizaron los días 1, 4, 8, 12 y 15 de almacenamiento a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$, la determinación de pH se realizó usando un potenciómetro (pH 120, Conductronic, Puebla, México) a temperatura ambiente. Para la determinación de acidez titulable se realizó por titulación siguiendo la metodología propuesta por Abdeldaiem et al. (2023). Se tomaron 10 g de cada una de las muestras de yogur, posteriormente fueron agregados 3 gotas de indicador de fenolftaleína y se tituló con una solución estándar de NaOH 0.1 N hasta que persistió un color rosa pálido durante aproximadamente 15 segundos. La acidez titulable se midió con base en el ácido láctico, debido a que es el principal ácido orgánico en las muestras de yogur.

Para la determinación de sinéresis se siguió la metodología propuesta por Anuyahong et al. (2020). Se pesaron 20 g de cada tratamiento de yogur y se centrifugaron a $6600 \times g$ a 4 ± 1 °C durante 30 min en una centrífuga (Centrifuge 5810 R, Eppendorf, AG, Hamburgo, Alemania), el valor de sinéresis se expresó como el volumen de líquido separado por 100 g de yogur.

4.3.4.3. Obtención de extractos de yogures.

Para la determinación de contenido fenólico total (CFT) y actividad antioxidante fue necesario la preparación de extractos a partir de las muestras de los días 1, 4, 8, 12 y 15 de las diferentes muestras de yogur CG, BG, HC_{0.3}, HC_{0.1}, HP_{0.3} y HP_{0.1}. Los extractos fueron obtenidos siguiendo la metodología propuesta por Anuyahong et al. (2020). Se tomó una muestra de 10 g de cada yogur y se diluyeron con 10 mL de agua destilada, las muestras se mantuvieron en agitación magnética constante a 100 rpm por 30 min a 25 ± 1 °C, después de agitar se centrifugaron a $2000 \times g$ por 30 min a 4 ± 1 °C en una centrífuga (Centrifuge 5810 R, Eppendorf, AG, Hamburgo, Alemania).

Posteriormente el sobrenadante se filtró usando papel Whatman No.1 y los extractos fueron almacenados a -20 ± 1 °C hasta la determinación de contenido fenólico total (CFT) y actividad antioxidante.

4.3.5. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante del yogur fortificado

4.3.5.1. Determinación de contenido fenólico total

El contenido fenólico total (CFT) del yogur fortificado fue determinada mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu siguiendo el procedimiento descrito por Anuyahong et al. (2020) con ligeras modificaciones. Se tomó una muestra de 500 µL de extracto de yogur y se mezcló con 500 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu (diluido 1:10 veces). Después de 5 min de incubación, se añadieron 500 µL de carbonato de sodio al 10 % p/v para detener la reacción. La reacción se estabilizó al incubar a temperatura ambiente y en oscuridad durante 30 min. Transcurrido el tiempo de incubación se determinó la absorbancia en 760 nm en un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, Estados Unidos). Se preparó una curva estándar de ácido gálico y el CFT del

extracto de muestra se expresó como equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra.

4.3.5.2. Capacidad de captación de radicales DPPH

La actividad de eliminación de radicales DPPH se midió utilizando el radical estable DPPH (1,1-difenil 2-picrilhidrazilo) siguiendo la metodología propuesta por Anuyahong et al. (2020) con ligeras modificaciones. Se tomó una muestra de 1 mL de cada extracto de yogur y fue añadido 1 mL de solución de DPPH (0.2 mM) diluido en etanol, posteriormente se incubó durante 30 min en oscuridad a temperatura ambiente. La disminución de la absorbancia de la solución se determinó a 515 nm. La actividad eliminadora de radicales DPPH se reportó como porcentaje de inhibición de DPPH. La eliminación de radicales DPPH se calculó de acuerdo con la ecuación 9.

$$(\%) \text{inhibición DPPH} = \left(\frac{\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{extracto}}}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right) \times 100 \dots\dots\dots (\text{Ec. 9})$$

Donde:

(%) inhibición DPPH= % de actividad captadora del radical DPPH

Abs_{control}= Absorbancia del control

Abs_{extracto}= Absorbancia de la muestra con extracto después de 30 min.

4.3.5.3. Capacidad de captación de radicales ABTS

La actividad eliminadora de radicales ABTS se determinó siguiendo la metodología propuesta por Nazari et al. (2023) con ligeras modificaciones. Se preparó una solución ABTS (7 mM) y se mezcló con persulfato de potasio (2.45 mM). Una vez completada la mezcla, se mantuvo en oscuridad a temperatura ambiente durante 15 h para alcanzar un nivel oxidativo estable. Transcurrido el tiempo de reacción, la solución fue diluida con agua destilada hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Una vez obtenida la solución a la absorbancia necesaria, se agregó 1 mL de solución ABTS a 100 µl de extracto de yogur. La lectura de absorbancia se determinó por medio de un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, Estados Unidos) a 734 nm después de 10 minutos de reacción. El porcentaje de inhibición de radical ABTS se calculó según la ecuación 10:

$$(\%) \text{inhibición ABTS} = \left(\frac{\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{extracto}}}{\text{Abs}_{\text{control}}} \right) \times 100 \dots\dots\dots (\text{Ec. 10})$$

Donde:

(%) inhibición ABTS= % de actividad captadora del radical ABTS

Abs_{control}= Absorbancia del control

Abs_{extracto}= Absorbancia de la muestra con extracto después de 10 min

4.3.6. Análisis reológico de yogures fortificado con HC y HP

Las propiedades reológicas de los yogures fortificados con HC y HP_D se analizaron al día 1 y 14 en un reómetro (DHR-3, TA Instruments, New Castle, Estados Unidos), utilizando una geometría cono-plato (2°, 60 mm de diámetro). Se tomaron 5 g de las muestras de yogur de BG, CG, HC_{0.3}, HC_{0.1}, HP_{0.3} y HP_{0.1}. Las muestras se colocaron cuidadosamente en el plato y dejaron reposar por 5 min para permitir la recuperación de la estructura. Las muestras fueron sometidas a barridos de amplitud (0.01 – 100 % de deformación, 1 Hz) para caracterizar la región viscoelástica lineal de los tratamientos de yogur fortificados, así como de los controles. Posteriormente 5 g muestras de yogures fortificados y controles se sometieron a un barrido de tasa de corte (10⁻³ a 10³ s⁻¹) registrándose la viscosidad aparente de las muestras de yogur (Hernández-Rodríguez, 2017). Las curvas de flujo de los yogures se obtuvieron variando la velocidad de corte de 1 a 300 s⁻¹, se midieron los valores correspondientes a esfuerzo cortante y viscosidad aparente. Los datos de las curvas de flujo se ajustaron usando el software del reómetro TRIOS (TA Instruments, New Castle, Estados Unidos) para describir el comportamiento de fluidos. El análisis se realizó por triplicado en cada uno de los tratamientos de yogur fortificado con HC y HP_D. La temperatura se mantuvo a 4 ± 0.1 °C en todos los análisis utilizando el sistema de control de temperatura Peltier, el cual se encuentra colocado en el reómetro y conectado a un enfriador de líquido compacto ThermoCube 400LS (Wappingers Falls, Nueva York, Estados Unidos).

4.3.7. Microestructura

Para llevar a cabo el análisis de microestructura de los yogures fortificados se siguió la metodología propuesta por Sandoval-Castilla et al. (2004), con ligeras modificaciones. Se tomaron muestras de yogur de 0.3 g aproximadamente y se

colocaron 1 cm por debajo de la superficie de una solución de agar al 3 % p/p (código Oxoid L13) a 45 ± 1 °C hasta su gelificación a 20 ± 1 °C. Las muestras se cortaron en cubos de ~1 mm y se fijaron en una solución de glutaraldehído al 2 % v/v en tampón fosfato (0.1 M, pH 7.2) para fijar las proteínas. Se dejó reposar a temperatura ambiente durante 2 h para después dejar las muestras almacenadas por 24 horas a 4 °C. Las muestras fijadas se lavaron con tampón fosfato y se deshidrataron por medio de una serie de lavados de etanol absoluto (30, 50, 70, 80 y 90 % v/v, 1 h por cada concentración de alcohol) y posteriormente en etanol absoluto durante 24 h. Las muestras fueron secadas hasta punto crítico en un secador de punto crítico Samdri-795 (Tousimis, Rockville, Estados Unidos). Las secciones secas se fracturaron con una cuchilla y los fragmentos se montaron en soportes de aluminio para microscopía electrónica de barrido (SEM) por sus siglas en inglés. La microestructura de los yogures se examinó con un microscopio electrónico de barrido de alto vacío JEOL JSM6360LV (Jeol Ltd., Akishima, Japón) a 10 kV con aumentos de 1000 y 5000 $\times$.

4.3.8. Evaluación sensorial

Los yogures fortificados con HC y HP_D fueron evaluados por un grupo de panelistas conformados por consumidores frecuentes de yogur constituido por 80 estudiantes de la Universidad Autónoma Chapingo de entre 16 y 22 años. A los panelistas se les proporcionó de manera aleatoria muestras de aproximadamente de 10 g de yogur con los 6 tratamientos a evaluar (con 3 días almacenamiento) en vasos de plástico de 20 mL, antes de ser servidos a temperatura ambiente (22 ± 1 °C). Las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4 ± 1 °C y codificados con números aleatorios de tres números. Los panelistas evaluaron los yogures fortificados utilizando una escala hedónica de 5 puntos en donde: 1= Me disgusta mucho, 2=Me disgusta moderadamente, 3=No me gusta ni me disgusta, 4=Me gusta levemente, 5=Me gusta mucho (Hernández-Rodríguez et al., 2017). Los parámetros evaluados fueron: color, aroma, sabor, acidez, apariencia, cremosidad, granularidad, sabor residual y aceptabilidad global.

4.3.9. Análisis Estadístico

Todas las mediciones se realizaron por triplicado y los datos se presentaron como medias $\pm$ desviación estándar. Los datos se procesaron mediante análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y análisis de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.5$. El análisis de datos se llevó a cabo utilizando el software SPSS (versión 26.0.0.0, Chicago, IL, EE. UU.).

4.4. Resultados y discusión

4.4.1. Caracterización proximal de yogur fortificado con HC y HP

El yogur es el producto lácteo fermentado más consumido en todo el mundo, debido a que es considerado como fuente de macronutrientes como: proteínas, carbohidratos y lípidos además de ser una fuente importante de micronutrientes, considerando la abundancia de vitaminas y minerales que contiene (Meybodi et al., 2020). El propósito general de caracterizar el yogur fortificado con frutas, verduras, semillas o subproductos de estas se basa en determinar las alteraciones fisicoquímicas y documentar el aumento o disminución en su estabilidad, es por esto que la fortificación del yogur es un reto desafiante en la ingeniería de los alimentos, debido a la manera que estos alteran las propiedades fisicoquímicas del yogur (Ahmad et al., 2022). Los resultados del contenido químico proximal de los yogures fortificados con HC y HP, se muestran en el Cuadro 14. En la Figura 1 se muestran los yogures fortificados con HC y HP durante el día 1.

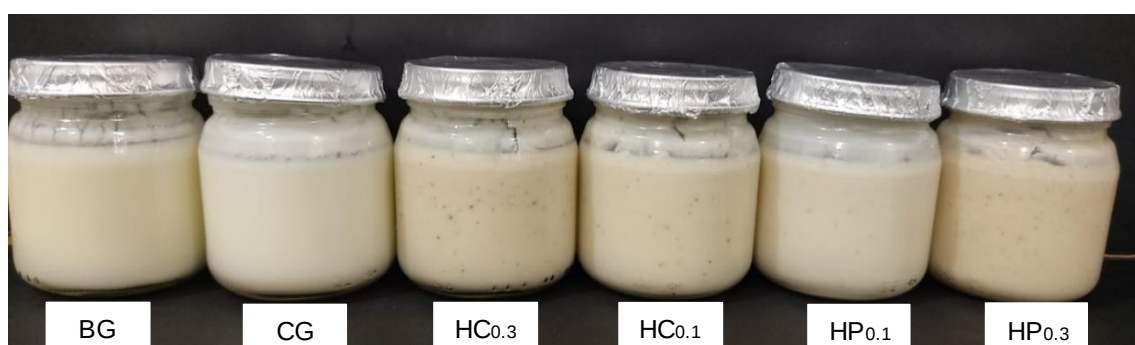


Figura 1. Imagen de los yogures fortificados con HC y HP en el día uno de la evaluación fisicoquímica.

Cuadro 14. Contenido químico proximal de los yogures fortificados con HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro (%)	Tratamientos					
	CG	BG	HC _{0.1}	HC _{0.3}	HP _{0.1}	HP _{0.3}
Proteína	4.72 ± 0.05 ^d	5.07 ± 0.02 ^c	5.08 ± 0.10 ^c	5.10 ± 0.14 ^c	5.68 ± 0.10 ^b	5.96 ± 0.12 ^a
Humedad	83.46 ± 0.21 ^a	83.72 ± 0.11 ^a	83.42 ± 0.17 ^a	83.02 ± 0.09 ^b	82.33 ± 0.09 ^c	81.80 ± 0.10 ^d
Grasa	2.16 ± 0.04 ^a	1.08 ± 0.10 ^b	1.07 ± 0.14 ^b	1.08 ± 0.10 ^b	1.03 ± 0.10 ^b	1.09 ± 0.08 ^b
Ceniza	0.94 ± 0.07 ^c	1.11 ± 0.11 ^c	1.26 ± 0.08 ^c	1.33 ± 0.10 ^c	1.61 ± 0.10 ^b	1.78 ± 0.09 ^a
*Carbohidratos	8.72 ± 0.09 ^b	9.02 ± 0.08 ^a	9.17 ± 0.10 ^a	9.47 ± 0.10 ^a	9.35 ± 0.09 ^a	9.37 ± 0.09 ^a

*Los carbohidratos fueron calculados por la diferencia de la suma de los componentes-100. P. A.: Periodo de almacenamiento. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una fila son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1 y 0.3 % p/p de HC y HP, respectivamente.

La textura del yogur esta influenciada por el contenido de sólidos, por esta razón, el análisis químico proximal es el primer estudio que muestra el efecto de las harinas sobre el yogur (Zhao et al., 2020). Los yogures fortificados con HP obtuvieron un incremento significativo ($p \leq 0.05$) en el contenido de proteína y ceniza respecto a los controles y los fortificados con HC, debido a que HP posee mayor contenido proteínas y cenizas respecto a HC. El aumento en sólidos totales es deseable en la fortificación del yogur; se ha informado por otros investigadores que este incremento modifica la manera en la que el gel se distribuye y forma la estructura en la red de caseína que conforma al yogur, disminuyendo el drenado del suero (Benmeziane et al., 2021; Zhao et al., 2020).

4.4.2. Caracterización fisicoquímica del yogur fortificado con HC y HP

4.4.2.1. Determinación del pH y acidez titulable a través del tiempo

La producción comercial e industrial de yogur depende de factores como los cultivos iniciadores, volumen de producción, tipo de leche, temperatura y materias primas (Ahmad et al., 2022). El pH y la acidez titulable son parámetros relevantes en la evaluación de yogures al influir fuertemente en la viabilidad y las características metabólicas de las bacterias ácido lácticas (BAL). En el Cuadro 15 se muestran los resultados de pH y acidez titulable de los yogures fortificados con HC y HP durante un periodo de almacenamiento de 15 días a 4 ± 1 °C.

Cuadro 15. pH y acidez de los yogures fortificados con HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro	P.A. (días)	Tratamiento					
		CG	BG	HC _{0.1}	HC _{0.3}	HP _{0.1}	HP _{0.3}
pH	1	4.30 ± 0.01 ^{a,A}	4.29 ± 0.01 ^{a,A}	4.22 ± 0.01 ^{c,A}	4.15 ± 0.01 ^{d,A}	4.25 ± 0.01 ^{b,A}	4.16 ± 0.01 ^{d,A}
		4.28 ± 0.01 ^{a,A}	4.27 ± 0.01 ^{a,A}	4.21 ± 0.01 ^{c,B}	4.12 ± 0.01 ^{d,B}	4.23 ± 0.01 ^{b,A}	4.14 ± 0.01 ^{d,B}
	4	4.25 ± 0.01 ^{a,B}	4.24 ± 0.01 ^{a,B}	4.16 ± 0.01 ^{c,C}	4.10 ± 0.01 ^{e,C}	4.20 ± 0.01 ^{b,B}	4.12 ± 0.01 ^{d,C}
		4.23 ± 0.01 ^{a,B,C}	4.21 ± 0.01 ^{a,C}	4.14 ± 0.01 ^{c,D}	4.07 ± 0.01 ^{e,D}	4.17 ± 0.01 ^{b,B,C}	4.10 ± 0.01 ^{d,D}
	8	4.21 ± 0.01 ^{a,C}	4.18 ± 0.01 ^{b,D}	4.13 ± 0.01 ^{d,D}	4.05 ± 0.01 ^{f,E}	4.16 ± 0.01 ^{c,C}	4.08 ± 0.01 ^{e,E}
		0.77 ± 0.67 ^{d,D}	0.79 ± 0.58 ^{c,D}	0.79 ± 0.58 ^{c,E}	0.82 ± 0.58 ^{a,E}	0.80 ± 0.58 ^{b,c,D}	0.81 ± 0.58 ^{a,b,E}
	12	0.79 ± 1.00 ^{d,C,D}	0.80 ± 0.58 ^{c,d,D}	0.81 ± 0.58 ^{b,c,D}	0.84 ± 0.58 ^{a,D}	0.81 ± 1.00 ^{c,d,D}	0.83 ± 0.58 ^{a,b,D}
		0.81 ± 1.53 ^{c,C}	0.82 ± 0.58 ^{c,C}	0.85 ± 0.58 ^{b,C}	0.89 ± 0.58 ^{a,C}	0.83 ± 0.58 ^{c,C}	0.86 ± 0.58 ^{b,C}
	15	0.84 ± 0.58 ^{d,B}	0.84 ± 0.58 ^{d,B}	0.87 ± 0.58 ^{c,B}	0.93 ± 0.58 ^{a,B}	0.85 ± 0.58 ^{d,B}	0.90 ± 1.00 ^{b,B}
		0.87 ± 0.58 ^{c,A}	0.87 ± 0.58 ^{c,A}	0.91 ± 0.58 ^{b,A}	0.98 ± 0.58 ^{a,A}	0.88 ± 0.58 ^{c,A}	0.92 ± 0.58 ^{b,A}

P. A.: Periodo de almacenamiento. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices (en minúsculas en la misma fila; mayúsculas en la misma columna) son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1 y 0.3 % p/p de HC y HP, respectivamente.

Durante el día uno se obtuvo el pH más alto en todos los tratamientos y conforme aumentó el periodo de almacenamiento fue disminuyendo, causado por la formación continua de ácido láctico por parte de los cultivos iniciadores del yogur (Suwannasang et al., 2022). Desde el día uno y durante el resto del periodo de almacenamiento se obtuvo diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre los yogures control y los fortificados con HC y HP, en donde ordenados de menor a mayor en función del pH se observa el siguiente orden: HC_{0.3} > HC_{0.1} > HP_{0.3} > HP_{0.1} > BG > CG. La diferencia en los valores de pH se relaciona con la cantidad y tipo de ácidos orgánicos presentes en la cáscara y pulpa de aguacate, los cuales influyeron en los resultados obtenidos durante el periodo de almacenamiento. Se ha evidenciado la presencia de ácidos orgánicos presentes en la cáscara de aguacate como el ácido 5-O-cafeoilquínico, ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido p-cumárico (77.4 - 81, 1,592.4 - 1,989.9, 179.0 y 163.0 µg/g de peso seco, respectivamente), mientras que en la pulpa podemos encontrar los ácidos 5-feruloilquínico, p-cumárico, ferúlico y p -cumárico (76.2 -

115.5, 84.4 - 93.5, 19.5 - 24.4 y 16.4 - 35.8 $\mu\text{g/g}$ de peso seco, respectivamente) (Salazar-López et al., 2020).

Durante el proceso de fermentación para la obtención de yogur, la lactosa es transformada a ácido láctico por la acción de cultivos iniciadores, este proceso está relacionado con el crecimiento, actividad y composición de los cultivos iniciadores, provocando la disminución del pH a lo largo del periodo de almacenamiento (Nyanzi et al., 2021). Los tratamientos HP_{0.1}, CG y BG no mostraron diferencia estadística entre el día 1 y 4, mientras que los tratamientos HP_{0.3}, HC_{0.3} y HC_{0.1} disminuyeron el valor de pH durante el almacenamiento; investigadores como Alemán et al. (2023) han reportado que la fortificación del yogur promueve la proliferación celular de las BAL y por lo tanto un cambio constante en el pH.

Por otro lado, la tendencia en los valores de pH obtenidos en esta investigación son comparables a los resultados informados por Du et al. (2023), quienes evaluaron el efecto de fortificar un yogur con harina de mora al 1, 2 y 3 % p/p durante 28 días, obteniendo valores de pH iniciales mayores en los yogures fortificados respecto al pH del yogur control, tendencia que se mantuvo a lo largo del almacenamiento, los investigadores atribuyeron la diferencia en los valores de pH a la presencia de ácidos orgánicos, polisacáridos y algunos compuestos fenólicos contenidos en la harina de mora, los cuales sirvieron como prebióticos para la proliferación de BAL. En la Figura 2 se muestran los valores de pH de los yogures control y los fortificados con HC y HP, en donde es posible observar la diferencia entre los yogures fortificados con respecto a los yogures control en función del tiempo de almacenamiento.

Un valor bajo de pH en el yogur (< 4.5) es necesario para mantener la viabilidad y las características metabólicas de las bacterias probióticas, así mismo, la acidez es necesaria para este propósito, debido a la presencia de ácidos no ionizados (lactato y acetato) que protegen a las bacterias probióticas del ácido láctico (Meybodi et al., 2020).

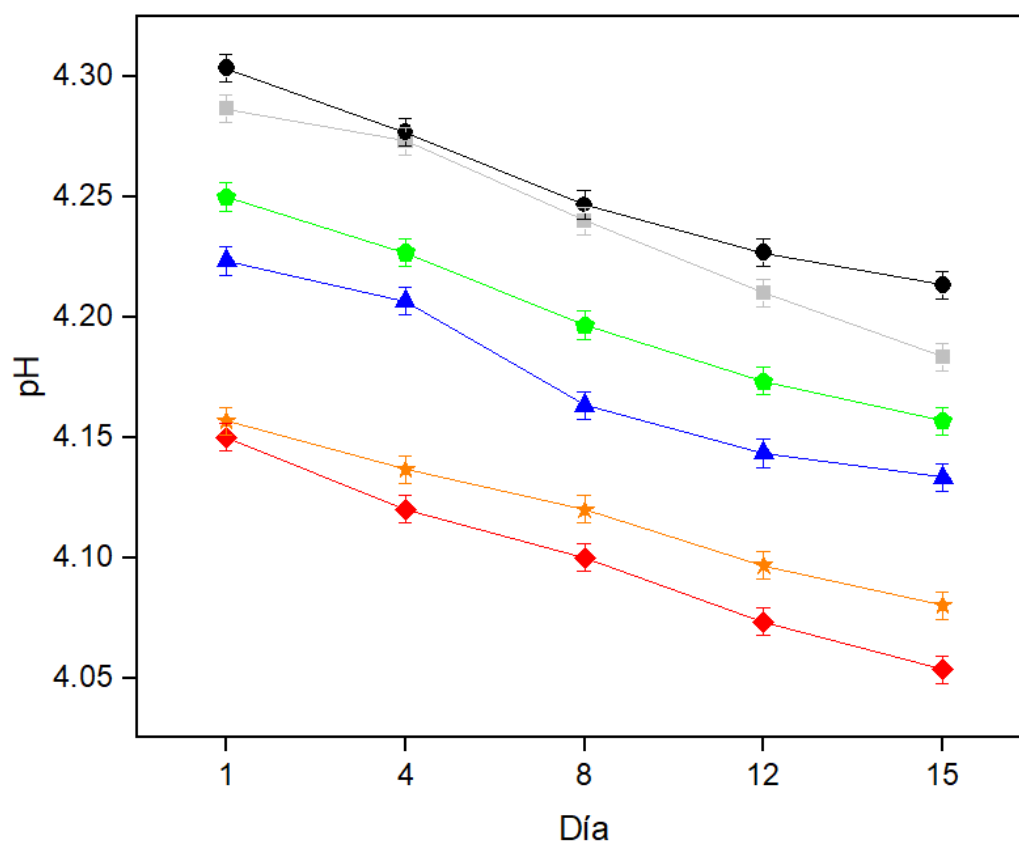


Figura 2. Valores de pH de los yogures almacenados durante 15 días de almacenamiento. CG (●), BG (■), HP0.1 (◆), HP0.3 (★), HC0.1 (▲) y HC0.3 (◆).

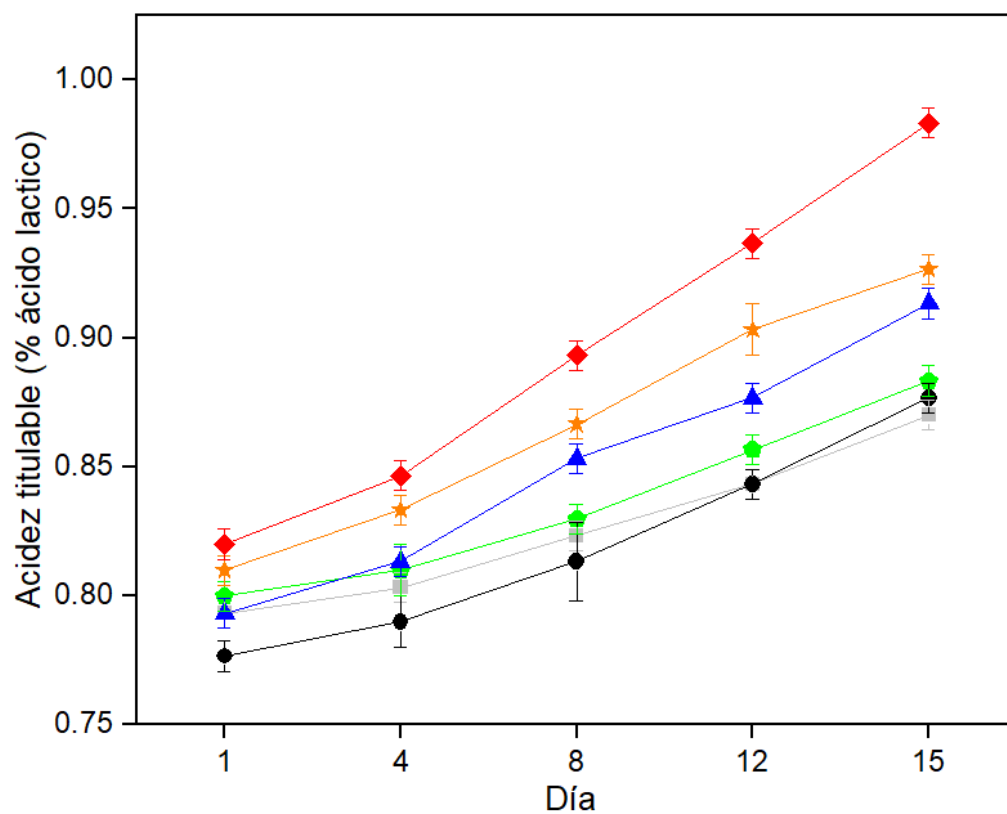


Figura 3. Acidez titulable de los yogures almacenados durante 15 días. CG (●), BG (■), HP0.1 (◆), HP0.3 (★), HC0.1 (▲) y HC0.3 (◆).

La acidez de los yogures evaluados durante esta investigación osciló entre 0.77 a 0.98 %, algunos autores han informado que los valores necesarios para ser considerado un producto lácteo fermentado deben estar en un rango de 0.7 y 1.2 % como los obtenidos en la presente investigación. La acidez titulable y el pH tienden a estar inversamente relacionados, debido a que el incremento en la acidez titulable es consecuencia de la fermentación de la lactosa por acción de las BAL; en este estudio la fermentación fue producida por la acción y crecimiento de *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Lactis*, transformando una parte de la lactosa en ácido láctico modificando los valores de acidez titulable durante el periodo de almacenamiento (Alemán et al., 2023).

A lo largo del periodo de almacenamiento se observó un aumento en la acidez de los tratamientos HC_{0.3}, HP_{0.3}, HP_{0.1} y HC_{0.1}, mostrando diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre cada uno de los días del almacenamiento, mientras que los yogures CG y BG, no mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) hasta el día 8 (Cuadro 15). El incremento en la acidez y la disminución en el pH mostraron tendencias similares al estar influenciadas con la cantidad y tipo de harina, debido a que los valores de acidez y pH fueron mayores en HC respecto a HP, esta tendencia se ha reportado anteriormente por otros investigadores como Wang et al. (2020) al evaluar las propiedades fisicoquímicas de un yogur fortificado con harina de manzana al 2 y 3 % p/p, observando un aumento en la acidez de 0.68 a 0.80 y de 0.68 a 0.77, respectivamente. El aumento en la acidez y la disminución del pH se atribuyó a la acidificación continua del yogur, causada por el crecimiento asociativo de las BAL durante la fermentación. En la Figura 3 se muestra el incremento de acidez de los yogures control y fortificados con HC y HP en función del tiempo de almacenamiento.

4.4.2.2. Determinación de sinéresis a través del tiempo

La determinación del porcentaje de sinéresis es un parámetro importante para la evaluación de la calidad del yogur, debido a que la separación del suero del yogur es percibida negativamente por los consumidores dado que asocian este defecto con problemas de calidad o en el control de esta, la sinéresis ocurre cuando el suero se drena del gel (yogur), el cual es formado cuando el pH está

cerca del punto isoeléctrico de la caseína (pH= 4.6) produciéndose así su precipitación (Du et al., 2023; Vénica et al., 2023). Los resultados de porcentaje de sinéresis se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Sinéresis de los yogures fortificados con HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro (% p/p)	P.A. (días)	Tratamiento					
		CG	BG	HC _{0.1}	HC _{0.3}	HP _{0.1}	HP _{0.3}
Sinéresis	1	6.67 ± 0.12 ^{b,D}	9.13 ± 0.12 ^{a,E}	4.67 ± 0.12 ^{c,E}	4.27 ± 0.06 ^{d,D}	4.17 ± 0.06 ^{d,E}	3.67 ± 0.12 ^{e,C}
		8.33 ± 0.12 ^{b,C}	13.67 ± 0.12 ^{a,D}	6.67 ± 0.12 ^{c,D}	4.33 ± 0.12 ^{e,D}	5.93 ± 0.12 ^{d,D}	2.93 ± 0.12 ^{f,D}
	4	8.53 ± 0.12 ^{b,C}	16.53 ± 0.23 ^{a,C}	7.23 ± 0.06 ^{c,C}	5.17 ± 0.06 ^{e,C}	6.57 ± 0.06 ^{d,C}	3.87 ± 0.12 ^{f,C}
		10.47 ± 0.12 ^{b,B}	18.13 ± 0.06 ^{a,B}	9.50 ± 0.10 ^{c,B}	8.63 ± 0.06 ^{e,B}	9.13 ± 0.06 ^{d,B}	6.27 ± 0.12 ^{f,B}
	8	12.17 ± 0.06 ^{b,A}	20.17 ± 0.06 ^{a,A}	11.33 ± 0.06 ^{c,A}	9.43 ± 0.06 ^{e,A}	10.30 ± 0.10 ^{d,A}	8.13 ± 0.06 ^{e,A}
	12						
	15						

P. A.: Periodo de almacenamiento. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices (en minúsculas en la misma fila; mayúsculas en la misma columna) son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1 y 0.3 % p/p de HC y HP, respectivamente.

La adición de HC y HP redujo la separación de suero de yogur en todos los tratamientos, los cuales mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) al compararlos con los controles (CG y BG). Durante el día uno HC_{0.3} y HP_{0.1} no difirieron estadísticamente ($p \leq 0.05$) debido a que el gel obtenido durante los primeros días de fermentación no ha formado de manera integral su estructura interna, a diferencia de los geles que han madurado por la acción de un pH bajo y una acidez alta en donde la atracción electrostática entre las partículas de HC y HP con la caseína se ha desarrollado completamente (Alemán et al., 2023). Al transcurrir el periodo de almacenamiento, los yogures fortificados mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) respecto a los controles al igual que entre los tratamientos, organizados de menor a mayor de acuerdo con sus valores de porcentaje de sinéresis, se obtuvo el siguiente orden: HP_{0.3} > HC_{0.3} > HP_{0.1} > HC_{0.1} > BG > CG. La liberación del suero es un fenómeno que es susceptible al tiempo y a la reorganización del gel, en donde la fusión de partículas conduce a una sinéresis microlocalizada, que lentamente provoca la macrosinéresis a causa de la apertura de la red debido a la formación de canales séricos, bolsas de suero y poros dilatados, estas características junto con la heterogeneidad del

gel conducen a la liberación o retención del suero dentro de la red que conforma al yogur (Gilbert y Turgeon, 2021).

La reducción de sinéresis obtenida en los yogures fortificados con HC y HP son comparables con los obtenidos por Wang et al. (2020), quienes evaluaron la adición de harina de manzana en concentraciones de 1, 2 y 3 % p/p sobre las propiedades fisicoquímicas del yogur batido durante 28 días. En el día 14, el yogur control obtuvo un valor de 26.1 ± 0.06 %, mientras que los yogures fortificados al 1, 2 y 3 % p/p obtuvieron valores de 19.4 ± 1.1 , 15.5 ± 1.3 y 11.3 ± 0.5 %, respectivamente; los autores atribuyeron la capacidad de retener el suero en el gel a la cantidad de compuestos solubles e insolubles en la harina de manzana, por lo tanto, los yogures fortificados con HC y HP se relacionan con las propiedades tecnofuncionales: capacidad de retención de agua (CRA) y poder de hinchamiento (PH) de las harinas, debido a que los compuestos solubles e insolubles presentes en las harinas influyen en la capacidad de retener agua libre dentro del gel del yogur, provocando la disminución de sinéresis.

Lo anterior debido a las interacciones entre proteínas y grupos hidroxilos, así como grupos aniónicos contenidos en los polisacáridos, los cuales pueden formar complejos al unir grupos de proteínas cargados positivamente. Cuando se forman estas interacciones, se forma una mejor estructura proteica del yogur y por lo tanto aumenta la capacidad de retención del suero dentro del gel (Vénica et al., 2023). La acidez y el pH están relacionados con la sinéresis, debido a que ambos factores fisicoquímicos disminuyen la estabilidad coloidal de las micelas de caseína, reduciendo la red del gel de caseína y afectando su capacidad de retención del suero (Alemán et al., 2023; Huang et al., 2021). En la Figura 4 se presenta una fotografía con los yogures control, así como de los yogures fortificados al día 15.

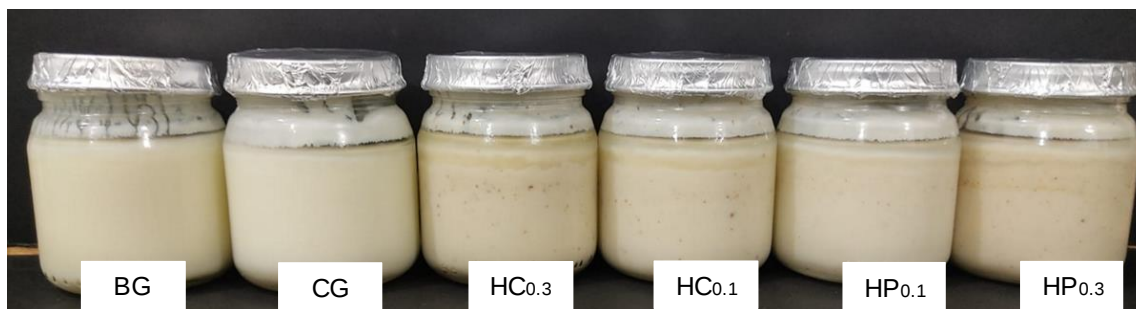


Figura 4. Yogures fortificados con HC y HP en el día 15 de evaluación fisicoquímica.

4.4.2.3. Determinación de color a través del tiempo

El color es uno de los parámetros importantes al momento de caracterizar un yogur, debido a que es un atributo sensible a la susceptibilidad de los consumidores llevando a la aceptación o rechazo del producto (Aleman et al., 2023). En este estudio se analizó el color de los yogures utilizando el sistema triestímulo de Hunter empleando los parámetros (CIE L^* , a^* y b^*) donde: L^* define el rango de luminosidad de 0 (negro) a 100 (blanco), eje a^* (rojo-verde): los valores positivos corresponden a los rojos y los valores negativos a las tonalidades verdes, en b^* (amarillo-azul) los valores positivos son amarillos y los valores negativos son azules (Licona-Aguilar et al., 2023). En el Cuadro 17 se muestran los valores L^* , a^* y b^* obtenidos en los yogures evaluados durante un periodo de almacenamiento de 15 días.

La luminosidad (L^*) en el yogur se vio afectada estadísticamente ($p \leq 0.05$) como resultado de la fortificación de HC y HP, a excepción de los tratamientos HC_{0.1} y CG los cuales no mostraron diferencia estadística entre sí durante el primer día. Al transcurrir el periodo de almacenamiento, todos los yogures fortificados mostraron diferencia estadística respecto a los controles, ordenando los resultados de L^* obtenidos en el día 15 de mayor a menor de la siguiente manera: HC_{0.3} > HP_{0.3} > HP_{0.1} ≥ HC_{0.1} > BG > CG. Es posible observar que existe una relación entre la cantidad y tipo de harina con la opacidad obtenida, debido a que la luminosidad en el yogur es causada por la presencia de glóbulos de grasa y micelas de caseína suspendidas coloidalmente dentro del yogur, las cuales dispersan la luz en el espectro visible, por lo que al incrementar la cantidad de partículas suspendidas los valores de luminosidad se ven afectados dando como resultado valores de luminosidad más bajos, es decir, yogures o geles más opacos respecto a los controles (Costa et al., 2015; García-Pérez et al., 2005).

Cuadro 17. Parámetros de color obtenidos en el yogur fortificado con HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro	P.A.	Tratamiento					
		CG	BG	HC _{0.1}	HC _{0.3}	HP _{0.1}	HP _{0.3}
L*	1	82.08 ± 0.09 ^{a,A}	80.55 ± 0.02 ^{b,A}	80.29 ± 0.23 ^{b,A}	75.50 ± 0.13 ^{e,A}	76.91 ± 0.16 ^{d,B}	77.58 ± 0.28 ^{c,A}
		81.59 ± 0.09 ^{a,B}	78.96 ± 0.12 ^{b,B}	77.53 ± 0.47 ^{c,B}	72.91 ± 0.12 ^{f,B}	76.23 ± 0.46 ^{d,A,B}	74.63 ± 0.25 ^{e,B}
	7	81.69 ± 0.08 ^{a,B}	80.16 ± 0.05 ^{b,C}	77.57 ± 0.18 ^{c,B}	72.92 ± 0.12 ^{e,B}	77.14 ± 0.37 ^{c,A}	74.87 ± 0.15 ^{d,B}
		-3.01 ± 0.01 ^{d,B}	-2.96 ± 0.01 ^{d,B}	-1.52 ± 0.05 ^{c,B}	0.10 ± 0.08 ^{a,B}	-1.49 ± 0.16 ^{c,B}	-1.19 ± 0.07 ^{b,A}
	15	-2.83 ± 0.04 ^{d,A}	-3.03 ± 0.02 ^{e,A}	-1.41 ± 0.05 ^{c,B}	0.16 ± 0.05 ^{a,B}	-1.50 ± 0.05 ^{c,B}	-1.10 ± 0.10 ^{b,A}
		-2.89 ± 0.01 ^{c,A}	-3.92 ± 0.01 ^{c,A}	-1.26 ± 0.03 ^{b,A}	0.40 ± 0.06 ^{a,A}	-1.27 ± 0.12 ^{b,A}	-1.15 ± 0.06 ^{b,A}
a*	1	7.52 ± 0.01 ^{e,A}	6.67 ± 0.02 ^{f,A}	10.91 ± 0.05 ^{c,A}	13.72 ± 0.13 ^{a,B}	10.39 ± 0.18 ^{d,A}	12.93 ± 0.12 ^{b,A}
		5.62 ± 0.12 ^{f,B}	6.69 ± 0.02 ^{e,A}	9.54 ± 0.02 ^{d,B}	12.58 ± 0.14 ^{a,C}	10.35 ± 0.04 ^{c,A}	11.56 ± 0.24 ^{b,B}
	7	5.77 ± 0.09 ^{e,B}	5.95 ± 0.03 ^{e,B}	9.67 ± 0.08 ^{d,B}	12.76 ± 0.18 ^{a,A}	10.35 ± 0.04 ^{c,A}	11.22 ± 0.15 ^{b,B}
	15						

P. A.: Periodo de almacenamiento. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices (en minúsculas en la misma fila; mayúsculas en la misma columna) son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1 y 0.3 % p/p de HC y HP, respectivamente.

Por otro lado, los valores de a* en todos los yogures fortificados mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) respecto los controles durante el periodo de almacenamiento, los yogures control y fortificados con HP (ambas concentraciones) y HC_{0.1} mostraron prevalencia en tonalidades verdes, mientras que el tratamiento HC_{0.3} obtuvo valores rojizos, los cuales pueden estar relacionados con la cantidad de pigmentos presentes en la cáscara de aguacate Hass como los carotenos, los cuales están en una mayor concentración con respecto a la pulpa.

De acuerdo con lo informado por Wang et al. (2010), la cáscara posee un contenido 2 veces mayor que la pulpa en el aguacate Hass. A lo largo del periodo de almacenamiento, se observó un incremento en los valores de a* en todos los yogures fortificados, este aumento ha sido atribuido a los cambios en la acidez, los cuales pueden ser responsables de alterar el tejido vegetal en HC y HP, causando la liberación de pigmentos como los carotenoides a la matriz del yogur; sin embargo, la liberación de pigmentos está en función al tipo y concentración

de harina, debido a que el tratamiento HP_{0.3} no mostró diferencia estadística ($p \leq 0.05$) en los valores de a^* durante los 15 días (Costa et al., 2015; Estrada et al., 2011).

Los resultados obtenidos en el eje b^* mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre los yogures fortificados respecto a los controles durante los 15 días del periodo de almacenamiento. Se ha reportado previamente por investigadores como Ścibisz et al. (2019), que la estabilidad del color del yogur fortificado con harinas de frutas durante el almacenamiento está influenciada por la especie, variedad y perfiles de pigmento, debido a que los pigmentos y compuestos fenólicos interactúan para intensificar el color (Alemán et al., 2023; Salazar-López et al., 2020).

Los resultados obtenidos en la presente investigación son comparables con los informados por Zahid et al. (2022) quienes adicionaron harina de cáscara de plátano en yogur, reportando una disminución en luminosidad respecto al control, debido al color marrón que presentaba la harina de cáscara de plátano, atribuyendo la diferencia en los valores de L^* a la existencia de compuestos fenólicos, los cuales contribuyeron a la fluctuación de luminosidad respecto al yogur control.

4.4.3. Contenido de fenólico total y actividad antioxidante de los yogures a través del tiempo

4.4.3.1. Contenido fenólico total de los yogures

El yogur fortificado con harinas de frutas y otras fuentes de compuestos bioactivos mejoran la bioactividad del yogur, en años recientes se ha incrementado el interés por los yogures fortificados con compuestos fenólicos, debido a su posible uso para el tratamiento de algunas enfermedades humanas (Sahingil y Hayaloglu, 2022; Pan et al., 2019). El contenido fenólico total (CFT) de los yogures control y fortificados con HC y HP fueron evaluadas durante un periodo de almacenamiento de 15 días a 4 ± 1 °C, los resultados obtenidos se presentan en la Cuadro 18.

Los yogures fortificados difirieron estadísticamente ($p \leq 0.05$) de los yogures control debido a la diferencia en el CFT causado por la adición de HC y HP. La cáscara y pulpa de aguacate Hass son una fuente importante de compuestos fenólicos con una alta capacidad antioxidante según lo informado en otras investigaciones (Ferreira y Santos, 2022; Wang et al., 2010).

Cuadro 18. Contenido fenólico total de los extractos de yogur fortificados con HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro	P.A. (días)	Tratamiento					
		CG	BG	HC _{0.1}	HC _{0.3}	HP _{0.1}	HP _{0.3}
CFT (mg EAG/g yogur)	1	2.02 ± 0.05 ^{d,C}	2.09 ± 0.03 ^{d,D}	4.09 ± 0.03 ^{b,E}	4.62 ± 0.01 ^{a,E}	3.87 ± 0.02 ^{c,E}	3.94 ± 0.02 ^{c,E}
	4	2.05 ± 0.11 ^{f,C}	2.38 ± 0.03 ^{e,C}	4.34 ± 0.03 ^{b,D}	4.81 ± 0.01 ^{a,D}	4.10 ± 0.01 ^{d,D}	4.21 ± 0.01 ^{c,D}
	8	2.13 ± 0.05 ^{f,C}	2.47 ± 0.04 ^{e,C}	4.65 ± 0.08 ^{b,C}	5.05 ± 0.01 ^{a,C}	4.37 ± 0.01 ^{d,C}	4.48 ± 0.02 ^{c,C}
	12	2.37 ± 0.03 ^{e,B}	3.10 ± 0.03 ^{d,B}	4.87 ± 0.02 ^{b,B}	5.27 ± 0.01 ^{a,B}	4.65 ± 0.03 ^{c,B}	4.79 ± 0.01 ^{b,B}
	15	2.82 ± 0.02 ^{f,A}	3.29 ± 0.02 ^{e,A}	5.12 ± 0.02 ^{b,A}	5.42 ± 0.01 ^{a,A}	4.83 ± 0.02 ^{d,A}	4.98 ± 0.01 ^{c,A}

P. A.: Periodo de almacenamiento. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices (en minúsculas en la misma fila; mayúsculas en la misma columna) son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1 y 0.3 % p/p de HC y HP, respectivamente.

A lo largo del periodo de almacenamiento los valores en el CFT incrementaron en función del tiempo de almacenamiento, se ha informado que el aumento en el CFT de los yogures fortificados es causado por la fermentación láctica llevada a cabo por las BAL, las cuales liberan ácidos fenólicos contenidos dentro de la pared celular vegetal de las harinas por medio de hidrólisis enzimática llevada a cabo por la enzima esterasa del ácido ferúlico producida por las BAL; investigadores han propuesto la existencia de un equilibrio entre la liberación y degradación de fenoles para explicar este aumento en los valores de CFT en yogures fortificados, además del incremento causado por la transformación de azúcares y proteínas durante la fermentación en compuestos reductores que reaccionan a la fotometría de Folin Ciocalteu como: antioxidantes de bajo peso molecular, péptidos y aminoácidos libres (Ribeiro et al., 2021; Shori., 2020; López O. et al., 2015; Hole et al., 2012). Por lo tanto, la liberación de los fitoquímicos contenidos en HC y HP son responsables del aumento en el CFT de los yogures fortificados a lo largo del periodo de almacenamiento, en donde

los tratamientos con HC obtuvieron los valores más altos con respecto a los tratamientos con HP, los cuales no mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre sí hasta el día 4, organizando de mayor a menor los tratamientos respecto a los resultados obtenidos durante el día 15 se observa la siguiente tendencia: $HC_{0.3} > HC_{0.1} > HP_{0.3} > HP_{0.1} > BG > CG$.

El CFT en los yogures fortificados con HC osciló entre 5.12 y 5.42 mg EAG/g, mientras que los yogures con HP oscilaron entre 4.83 y 4.98 mg EAG/g en función de la proporción añadida de harina, es decir los tratamientos con 0.3 % p/p fueron mayores a 0.1 % p/p. Tendencias similares han sido reportados previamente por otros investigadores como Ferreira y Santos (2023) al evaluar yogures fortificados con 0.1 y 0.2 % p/p de harina de cáscara de granada y obtener 4.5 y 5.0 mg EAG/g, respectivamente de contenido fenólico total atribuyendo el aumento a la incorporación de la harina.

4.4.3.2. Capacidad de eliminación de radicales DPPH

El consumo de yogur se ha incrementado mundialmente debido a los beneficios que se le han atribuido a lo largo de los años, recientemente ha surgido una tendencia por adicionar fuentes antioxidantes como: frutas, verduras, semillas y mucílagos debido a que se ha relacionado la prevalencia de enfermedades crónico degenerativas (Ahmad et al., 2022; Zhang et al., 2015). Los antioxidantes previenen la oxidación al donar su electrón a los radicales libres, convirtiéndolos en compuestos inertes y relacionándolos con compuestos fenólicos, los cuales son captadores de oxígeno activo dentro de los alimentos (Shori, 2020). En la Cuadro 19 se muestran los valores de los porcentajes de inhibición del radical DPPH de los yogures control y fortificados con HC y HP almacenados durante 15 días a 4 ± 1 °C.

Durante el día 1 únicamente el tratamiento $HC_{0.3}$ difirió estadísticamente ($p \leq 0.05$) de los otros tratamientos y los yogures control debido a la cantidad de compuestos fenólicos que la cáscara de aguacate Hass contiene, los cuales poseen una alta actividad antioxidante (Ferreira y Santos, 2022; Salazar-López et al., 2020; Bhuyan et al., 2019; Wang et al., 2010).

Cuadro 19. Actividad de eliminación de radicales DPPH del yogur fortificado con HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro	P.A. (días)	Tratamiento					
		CG	BG	HC0.1	HC0.3	HP0.1	HP0.3
(%) de inhibición DPPH	1	54.48 ± 0.13 ^{b,B}	55.11 ± 0.23 ^{b,C}	56.19 ± 0.86 ^{b,E}	61.88 ± 0.36 ^{a,E}	55.80 ± 0.09 ^{b,E}	57.54 ± 0.19 ^{b,E}
	4	55.26 ± 0.10 ^{e,B}	56.86 ± 0.56 ^{d,B}	60.13 ± 0.10 ^{b,D}	62.57 ± 0.11 ^{a,D}	58.56 ± 0.06 ^{c,D}	59.52 ± 0.20 ^{b,D}
	8	56.21 ± 0.38 ^{f,B}	57.01 ± 0.20 ^{e,B}	62.01 ± 0.10 ^{b,C}	64.49 ± 0.31 ^{a,C}	60.32 ± 0.10 ^{d,C}	61.25 ± 0.15 ^{c,C}
	12	58.01 ± 0.20 ^{f,A,B}	59.94 ± 0.20 ^{e,A}	63.70 ± 0.06 ^{b,B}	65.67 ± 0.10 ^{a,B}	61.17 ± 0.10 ^{d,B}	62.29 ± 0.15 ^{c,B}
	15	59.62 ± 0.13 ^{f,A}	60.81 ± 0.05 ^{e,A}	65.19 ± 0.08 ^{b,A}	67.11 ± 0.13 ^{a,A}	63.35 ± 0.13 ^{d,A}	64.41 ± 0.13 ^{c,A}

P. A.: Periodo de almacenamiento. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices (en minúsculas en la misma fila; mayúsculas en la misma columna) son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC0.1, HC0.3, HP0.1 y HP0.3; Yogur sustituido 0.1 y 0.3 % p/p de HC y HP, respectivamente.

Al finalizar el tiempo de almacenamiento, todos los yogures fortificados difirieron estadísticamente ($p \leq 0.05$) de los yogures control, el aumento en la actividad antioxidante se relaciona con el aumento en el CFT, es decir, a mayor cantidad de fenoles mayor actividad antioxidante y debido a esto, los yogures fortificados con HC fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) a los yogures con HP. Se ha informado previamente en otras investigaciones que las acetogeninas presentes en la pulpa de aguacate Hass son las responsables de la actividad antioxidante, mientras que en la cáscara se atribuye la actividad a las procianidinas (Ahmed et al., 2022; Salazar-López et al., 2020; Rodríguez-Sánchez et al., 2013).

4.4.3.3. Capacidad de eliminación de radicales ABTS

Las plantas sintetizan compuestos fenólicos como metabolitos secundarios para su protección contra depredadores y el estrés ambiental; estos compuestos bioactivos son agregados a los alimentos debido a la habilidad que poseen para eliminar radicales libres, agentes reductores y quelantes de iones metálicos (Li et al., 2023).

El ensayo ABTS es una prueba de decoloración que permite medir la actividad antioxidante de los radicales de peróxido lipídico y radicales en fase acuosa (El-

Said et al., 2014). En la Cuadro 20 se muestran los valores de los porcentajes de inhibición del radical ABTS de los yogures control y fortificados con HC y HP almacenados durante 15 días a 4 ± 1 °C.

Cuadro 20. Actividad de eliminación de radicales ABTS del yogur fortificado con HC y HP de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.).

Parámetro	P.A. (días)	Tratamiento					
		CG	BG	HC _{0.1}	HC _{0.3}	HP _{0.1}	HP _{0.3}
(%) de inhibición ABTS	1	21.43 ± 1.05 ^{f,C}	23.76 ± 0.38 ^{e,E}	51.73 ± 0.87 ^{c,E}	58.37 ± 0.64 ^{a,E}	48.17 ± 0.22 ^{d,E}	53.91 ± 0.49 ^{b,E}
	4	22.52 ± 0.07 ^{e,C}	26.88 ± 0.43 ^{d,D}	56.38 ± 1.10 ^{b,D}	62.38 ± 0.43 ^{a,D}	50.73 ± 0.22 ^{c,D}	56.38 ± 0.36 ^{b,D}
	8	25.46 ± 1.07 ^{e,B}	31.58 ± 1.13 ^{d,C}	59.08 ± 0.22 ^{b,C}	68.14 ± 0.43 ^{a,C}	53.96 ± 0.22 ^{c,C}	59.32 ± 0.28 ^{b,C}
	12	30.49 ± 0.22 ^{e,A}	33.81 ± 0.36 ^{d,B}	62.92 ± 1.53 ^{b,B}	69.80 ± 0.36 ^{a,B}	57.99 ± 0.36 ^{c,B}	62.87 ± 0.28 ^{b,B}
	15	32.15 ± 0.25 ^{f,A}	36.79 ± 0.50 ^{e,A}	69.46 ± 0.64 ^{b,A}	76.91 ± 0.97 ^{a,A}	59.55 ± 0.43 ^{d,A}	66.71 ± 0.51 ^{c,A}

P. A.: Periodo de almacenamiento. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. Los valores medios con diferentes superíndices (en minúsculas en la misma fila; mayúsculas en la misma columna) son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1 y 0.3 % p/p de HC y HP, respectivamente.

Durante el día 1 los tratamientos y controles difirieron estadísticamente ($p \leq 0.05$) entre sí, mostrando una tendencia similar al ensayo DPPH; en donde los yogures fortificados con HC obtuvieron una actividad antioxidante mayor que los adicionados con HP, comportamiento que se mantuvo a lo largo de los 15 días. Ambas pruebas (ABTS y DPPH) mostraron el aumento en la actividad antioxidante en función del tiempo, debido a la relación que existe con el proceso de fermentación, en donde ocurren cambios fisicoquímicos que surgen al degradar los componentes orgánicos de la leche (carbohidratos, proteínas y lípidos), convirtiéndolos en compuestos orgánicos secundarios como: ácidos orgánicos, péptidos y aminoácidos libres como la tirosina. La tirosina posee un grupo fenol y de acuerdo con la literatura, es el responsable del aumento en el CFT y actividad antioxidante en yogures naturales (Li et al., 2023; Hamid et al., 2022; Sahingil y Hayaloglu, 2022).

Al finalizar el periodo de almacenamiento los yogures fortificados con HC y HP difirieron estadísticamente ($p \leq 0.05$) entre sí, debido a la diferencia en los

pigmentos y los compuestos fenólicos de las harinas, además de los cambios fisicoquímicos producidos en el yogur, autores como El-Said et al. (2014) han reportado que los fenoles poseen una actividad antioxidante mayor en medio ácido que en uno básico debido al estado de ionización de los compuestos fenólicos. El-Said et al. (2014) yogures fortificados con cáscara de granada reportaron que el incremento en la actividad antioxidante estaba en función de la cantidad de harina agregada, debido a la cantidad de grupos hidroxilos presentes en los compuestos fenólicos, los cuales otorgan la capacidad de donar protones y de esta forma estabilizar los radicales libres.

4.4.4. Comportamiento reológico de los yogures fortificados con HC y HP

4.4.4.1. Propiedades viscoelásticas

Para determinar las propiedades viscoelásticas de los yogures batidos sin fortificar y fortificados con HC y HP, durante un periodo de almacenamiento de 14 días a 4 ± 1 °C se emplearon 2 pruebas diferentes: barridos de amplitud (BA) y barridos de frecuencia (BF). El yogur fortificado y sin fortificar son materiales viscoelásticos, por lo que su comportamiento reológico puede ser descrito por dos parámetros: módulo elástico (G'), el cual está relacionado con la rigidez de la red y caracteriza el comportamiento sólido del yogur, mientras que el módulo viscoso (G'') se relaciona con el componente viscoso y describe el comportamiento líquido (Vieira et al., 2022).

El BA es necesario para la determinación de la región viscoelástica lineal (RVL), la cual es importante debido a que, en esta, las propiedades viscoelásticas no dependen del porcentaje de deformación, por lo tanto, los módulos G' y G'' son proporcionales al esfuerzo aplicado; es decir, son constantes en todo momento (Chen et al., 2023; Vieira et al., 2022). De esta manera se pueden estudiar las propiedades viscoelásticas de una forma no destructiva y analizar el comportamiento del yogur antes y después de fortificarlo, permitiendo la caracterización de la rigidez de la red que conforma al gel (Gilbert y Turgeon, 2021). Las gráficas obtenidas de BA en el yogur control y fortificados con HC y HP durante los días 1 y 14 se muestran en las Figuras 5 y 6, respectivamente.

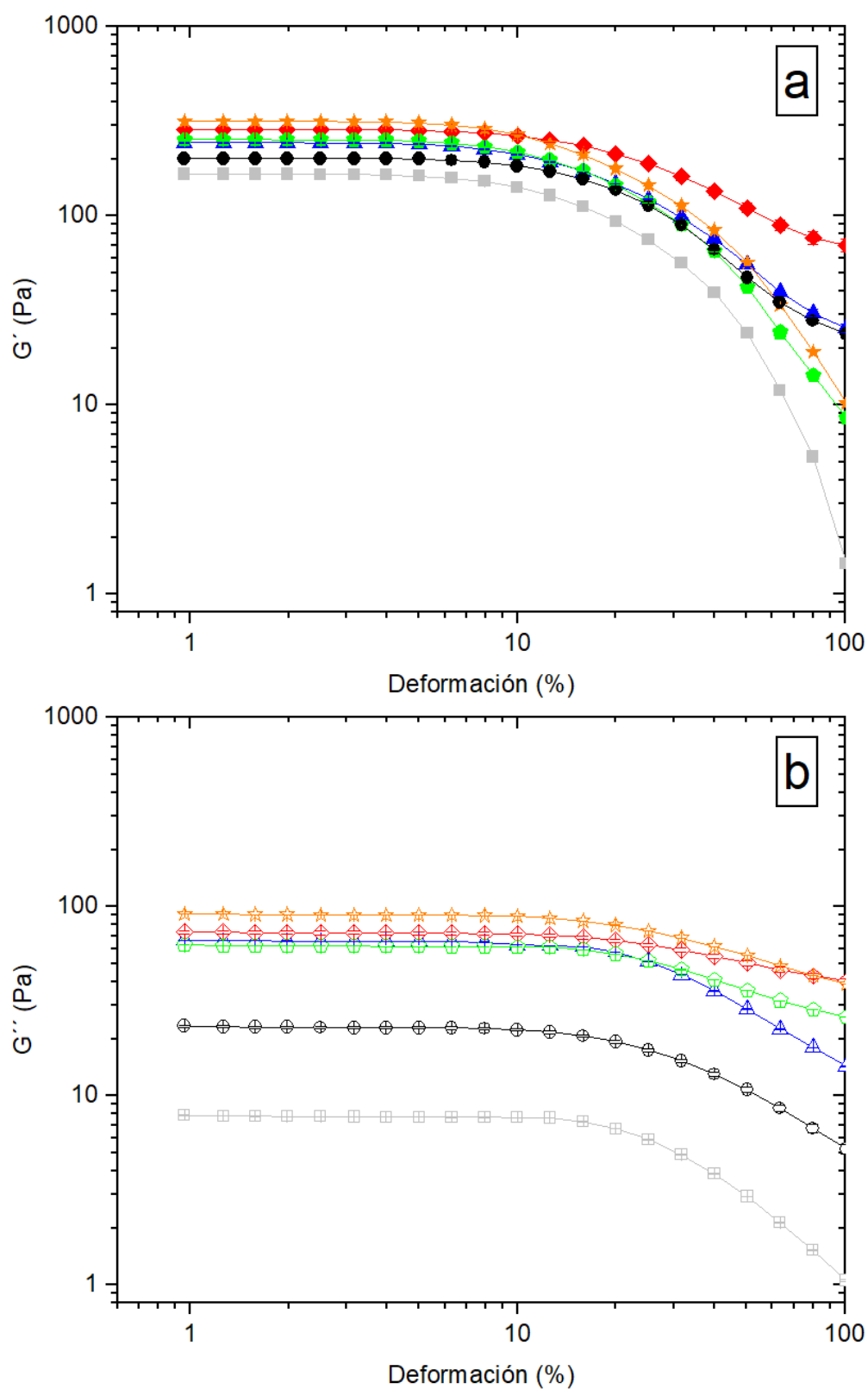


Figura 5. Variación del módulo de almacenamiento G' (a) y módulo de pérdida G'' (b) en función del % de deformación en el día 1. CG (●), BG (■), HP0.1 (◆), HP0.3 (★), HC0.1 (▲) y HC0.3 (◆).

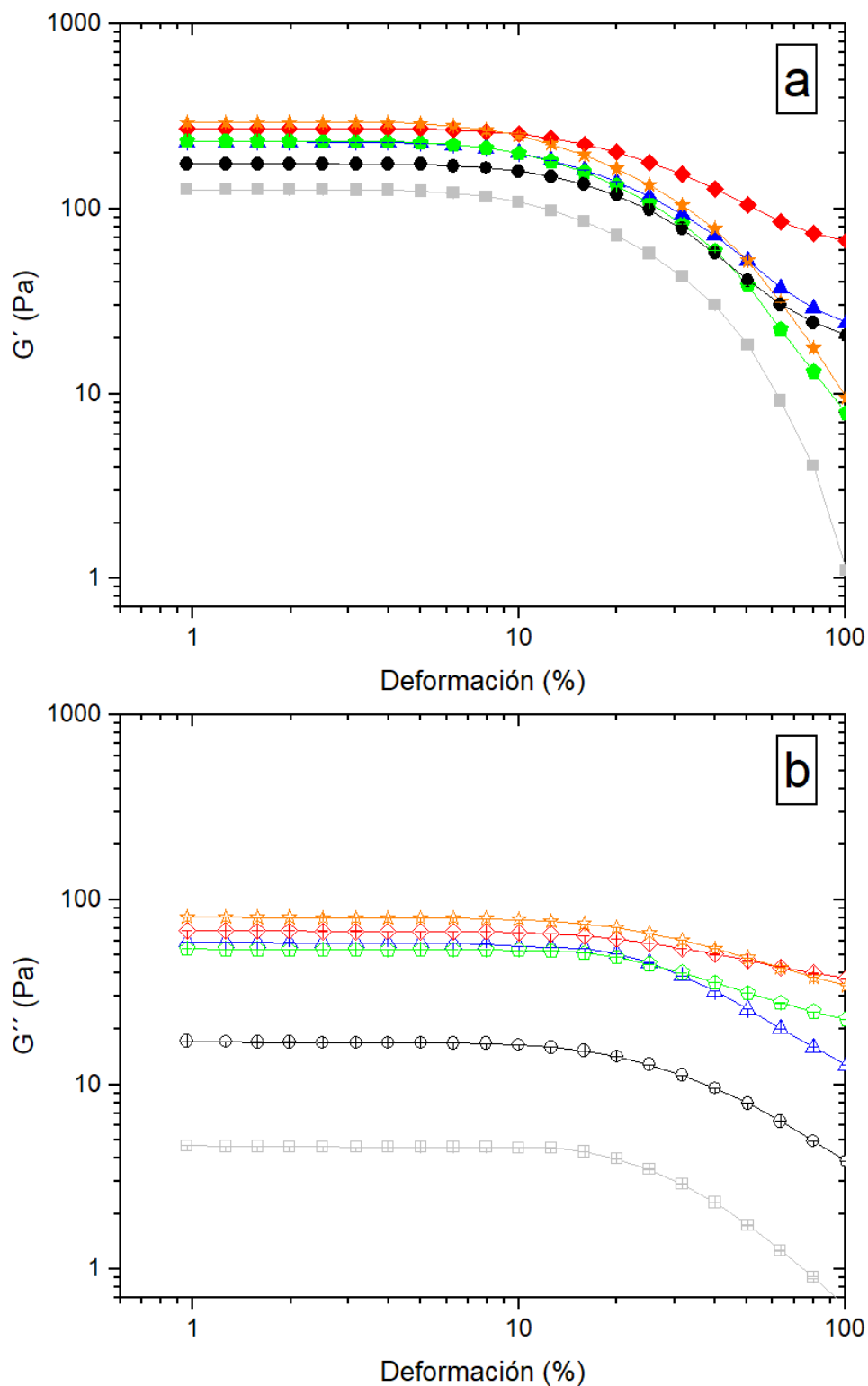


Figura 6. Variación del módulo de almacenamiento G' (a) y módulo de pérdida G'' (b) en función del % de deformación en el día 14. CG (●), BG (■), HP_{0.1} (●), HP_{0.3} (★), HC_{0.1} (▲) y HC_{0.3} (◆).

Durante el día 1 y 14 el módulo G' de todos los yogures mostraron un comportamiento viscoelástico lineal al esfuerzo aplicado en un rango de 0.01 al 0.1 por ciento de deformación. Las curvas de G' y G'' de yogures control y fortificados exhibieron una tendencia similar, como resultado del aumento en el porcentaje de deformación, caracterizado por una RVL a bajas deformaciones ($>0.2\%$), seguido de un decaimiento en los valores de los módulos G' y G'' conforme aumentaba la fuerza aplicada.

En la RVL los valores de G' durante el día 1 variaron de mayor a menor de la siguiente manera: $HP_{0.3}$ (315.68 Pa) $>$ $HC_{0.3}$ (285.60 Pa) $>$ $HP_{0.1}$ (253.10 Pa) $>$ $HC_{0.1}$ (243.25 Pa) $>$ CG (201.22 Pa) $>$ BG (165.77), durante el día 14 variaron de mayor a menor en la siguiente forma: $HP_{0.3}$ (293.74 Pa) $>$ $HC_{0.3}$ (272.46 Pa) $>$ $HP_{0.1}$ (233.02 Pa) $>$ $HC_{0.1}$ (230.65 Pa) $>$ CG (175.37 Pa) $>$ BG (127.24).

Los valores de G'' en el día 1 variaron de mayor a menor en el siguiente orden: $HP_{0.3}$ (91.24) $>$ $HC_{0.3}$ (73.04 Pa) $>$ $HP_{0.1}$ (62.06 Pa) $>$ $HC_{0.1}$ (66.06 Pa) $>$ CG (23.17 Pa) $>$ BG (7.79 Pa). Los valores obtenidos el día 14 ordenados de mayor a menor se organizan como sigue: $HP_{0.3}$ (80.54 Pa) $>$ $HC_{0.3}$ (68.02 Pa) $>$ $HP_{0.1}$ (53.90 Pa) $>$ $HC_{0.1}$ (58.78 Pa) $>$ CG (17.07 Pa) $>$ BG (4.64 Pa).

La adición de HC y HP modificó las propiedades viscoelásticas de los yogures, al requerir mayor esfuerzo para alterar la estructura del gel. Se ha informado previamente que el aumento en los sólidos totales en la leche altera la forma en la que se constituye el gel del yogur, debido al incremento en las interacciones proteína-proteína las cuales son capaces de ligar hasta 2.82 g de agua por gramo de proteína, así como las partículas dispersas de HC y HP las cuales atrapan moléculas de agua al alterar la microestructura del gel, la forma y compactación dentro de la red del gel influyen en la reología debido al entrelazamiento de microgeles dentro del yogur (Bista et al., 2021; Gilbert y Turgeon, 2021; Snoeren et al., 1982).

El aumento en la viscoelasticidad del gel se relaciona positivamente con el aumento en la sustitución de harinas, debido a que la dispersión de HC y HP dentro del gel actuó como un estabilizador estérico o “esqueleto de soporte”, debido a la capacidad de hinchamiento y retención que poseen las harinas,

fortaleciendo la estructura del gel al adherirse a los agregados de proteínas, resultando en una estructura interna más resistente al esfuerzo aplicado, a diferencia de los yogures control (BG y CG) los cuales al aumentar el porcentaje de deformidad sobre la estructura, rompieron los enlaces débiles en la red de proteínas, debilitando las repulsiones electrostáticas y las interacciones hidrofóbicas entre las moléculas que conforman el gel (Chen et al., 2023; Du et al., 2021).

Para realizar las pruebas de BF, se debe seleccionar un valor de deformación dentro de RVL (Vieira et al., 2022). Para determinar el efecto que la fortificación con HC y HP tienen sobre las propiedades viscoelásticas del yogur, según lo descrito por Du et al. (2021) hay 3 parámetros para cuantificar el efecto de fortificación del yogur: módulo de almacenamiento (G'), de pérdida (G'') y tangente de pérdida ($\tan \delta = G''/G'$). Los valores obtenidos de G' , G'' y $\tan \delta$ se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Valores de los módulos de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y tangente de pérdida ($\tan \delta$) de los yogures en la región viscoelástica lineal a 1 Hz.

Código	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\tan \delta$ (adim)	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\tan \delta$ (adim)
	Día 1 de almacenamiento			Día 14 de almacenamiento		
CG	198.98 ± 0.44 ^e	22.46 ± 0.09 ^e	0.11 ± 0.0 ^e	178.18 ± 0.29 ^e	18.72 ± 0.00 ^e	0.10 ± 0.0 ^e
BG	163.74 ± 0.03 ^f	8.55 ± 0.01 ^f	0.05 ± 0.0 ^f	129.84 ± 0.01 ^f	5.29 ± 0.09 ^f	0.04 ± 0.0 ^f
HP _{0.1}	254.58 ± 0.66 ^c	63.37 ± 0.10 ^d	0.24 ± 0.0 ^d	236.28 ± 0.03 ^c	59.89 ± 0.85 ^c	0.25 ± 0.0 ^b
HP _{0.3}	318.34 ± 1.21 ^a	90.48 ± 0.37 ^a	0.28 ± 0.0 ^a	298.12 ± 0.38 ^a	79.95 ± 0.11 ^a	0.27 ± 0.0 ^a
HC _{0.1}	248.21 ± 1.03 ^d	58.48 ± 0.26 ^c	0.23 ± 0.0 ^b	233.07 ± 0.46 ^d	55.12 ± 0.01 ^d	0.23 ± 0.0 ^d
HC _{0.3}	293.54 ± 0.73 ^b	74.72 ± 0.07 ^b	0.25 ± 0.0 ^c	275.72 ± 2.58 ^b	66.78 ± 0.39 ^b	0.24 ± 0.0 ^c

CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1% y 0.3% p/p de HC y HP, respectivamente. Los valores medios con diferentes superíndices dentro de la misma columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Durante el BF los seis tipos de yogur en los dos periodos de tiempos evaluados mostraron el comportamiento típico de un sólido viscoelástico, debido a que durante todo el intervalo de frecuencia (0.1–100 Hz) se mantuvo el módulo G'

por encima del módulo G'' durante los dos tiempos evaluados (Día 1 y 14). Al relacionar el módulo de almacenamiento y pérdida, el parámetro de tangente de pérdida ($\tan \delta$) puede proporcionar más información sobre las propiedades viscoelásticas de un material. Wang et al. (2020) informaron que un valor menor en la tangente de pérdida, describe una red de gel más heterogénea y, por lo tanto, más rígida impidiendo la mezcla con otras sustancias como por ejemplo la saliva debido a la estrecha relación que tiene $\tan \delta$ con el módulo elástico, mientras que los valores altos sugieren un gel menos rígido y posiblemente una textura más suave en la percepción sensorial, como los obtenidos en esta investigación, en donde todos los valores de $\tan \delta$ y G' resultaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre los tratamientos y manteniendo el mismo orden durante el periodo de almacenamiento, organizados de mayor a menor de la siguiente manera: $HP_{0.3} > HP_{0.1} > HC_{0.3} > HC_{0.1} > CG > BG$.

En la fortificación con 0.3 % de harina G' y $\tan \delta$ obtuvieron los valores más altos con respecto a los yogures con 0.1 % y yogures control, este comportamiento en las propiedades viscoelásticas ha sido documentada en otras investigaciones como la presentada por Pan et al. (2019) quienes evaluaron un yogur fortificado con harina de manzana al 2 y 3 %, informando un aumento en la viscoelasticidad del yogur en relación al aumento en la concentración de harina, debido a la interacción de los compuestos fenólicos presentes en la harina de manzana con las proteínas de leche. Adicionalmente, el incremento en el contenido de sólidos totales, influyó en el comportamiento del gel, especialmente la cantidad de proteínas agregadas las cuales estaban en mayor proporción en HP que en HC, lo que explicaría por que el yogur $HP_{0.3}$ y $HP_{0.1}$ resultaron en un gel más rígido que los fortificados con HC, causados por la cantidad de puentes generados entre los grupos hidroxilo de las proteínas en la pulpa y las caseínas de la leche, como lo informado por Vieira et al. (2022) al incorporar harina de lupino y caracterizar el yogur batido en función del incremento total de proteínas.

4.4.4.2. Propiedades de flujo

En la Figura 7 se muestran los valores de la viscosidad aparente de los yogures fortificados y sin fortificar en función de la tasa de corte y el tiempo de almacenamiento. Todos los yogures mostraron el comportamiento de un fluido pseudoplástico/adalgazante debido a la disminución de la viscosidad aparente

con respecto al aumento de la velocidad de corte, provocado por la reorientación y reacomodo del gel en respuesta a la fuerza aplicada (Chen et al., 2023). La viscosidad es una propiedad evaluada en los yogures debido a que se relaciona con la sensación en la boca, el cual es un atributo valorado por los consumidores (Aleman et al., 2023). Para realizar la comparación del aumento de la viscosidad aparente se eligió una velocidad de corte de 50 s^{-1} , debido a que esta velocidad es útil para simular las condiciones de corte en la boca (Chen et al., 2023; Dong et al., 2022). Los valores de viscosidad aparente ordenados de mayor a menor resultaron de la siguiente manera durante el día 1 y 14: $\text{HP}_{0.3} > \text{HP}_{0.1} > \text{HC}_{0.3} > \text{HC}_{0.1} > \text{CG} > \text{BG}$. La adición de HC y HP mejoraron la pseudoplasticidad al aumentar la viscosidad del yogur desde el día 1 ($0.29 - 0.96 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) y ($0.16 - 0.80 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) durante el día 14.

Para realizar comparaciones adicionales, se usaron diferentes modelos para describir el comportamiento pseudoplástico y debido al alto coeficiente de correlación ($R^2 > 0.97$) se empleó el modelo de potencia o método Ostwald-de Waele:

$$\eta = K |\dot{\gamma}|^{n-1}$$

Donde: $\dot{\gamma}$ es la tasa de corte (s^{-1}); K es el índice de consistencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$); n es un número adimensional que indica la cercanía al flujo Newtoniano ($n=1$ para el flujo newtoniano), también llamado índice de comportamiento de flujo (Ortega Quintana et al., 2015). Los valores que describen el comportamiento reológico de los yogures a partir de los parámetros del modelo Ostwald-de Waele se presentan en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Valores medios de los parámetros del modelo de Ostwald-de Waele.

Tratamiento	Día 1			Día 14		
	k ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)	n	R^2	k ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)	n	R^2
CG	2.43 ^e	0.58 ^e	0.99	1.83 ^e	0.46 ^e	0.99
BG	2.35 ^f	0.38 ^f	0.97	1.54 ^f	0.54 ^f	0.99
HP _{0.1}	2.83 ^c	0.84 ^c	0.99	2.05 ^c	0.76 ^c	0.99
HP _{0.3}	3.38 ^a	0.89 ^a	0.98	2.91 ^a	0.81 ^a	0.99
HC _{0.3}	2.91 ^b	0.81 ^b	0.99	2.43 ^b	0.78 ^b	0.99
HC _{0.1}	2.52 ^d	0.79 ^d	0.99	2.28 ^d	0.72 ^d	0.99

CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1% y 0.3% p/p de HC y HP, respectivamente. Superíndices distintos en una misma columna indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las medias.

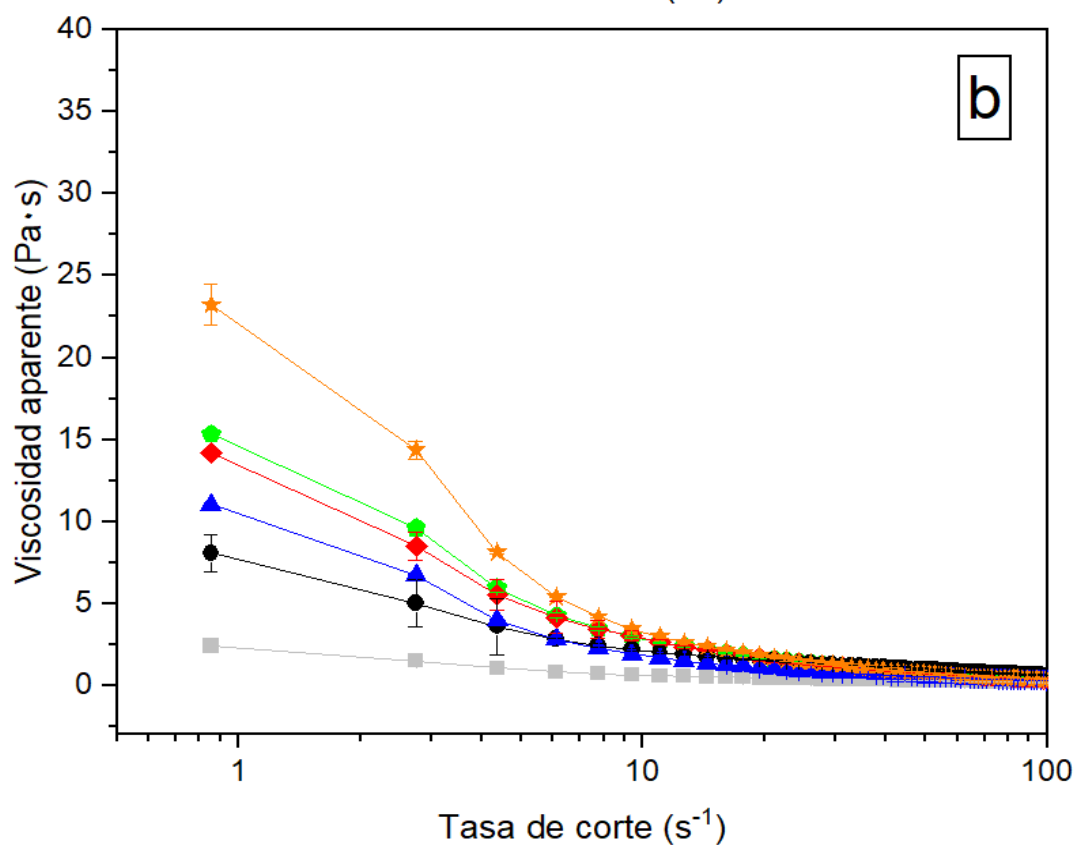
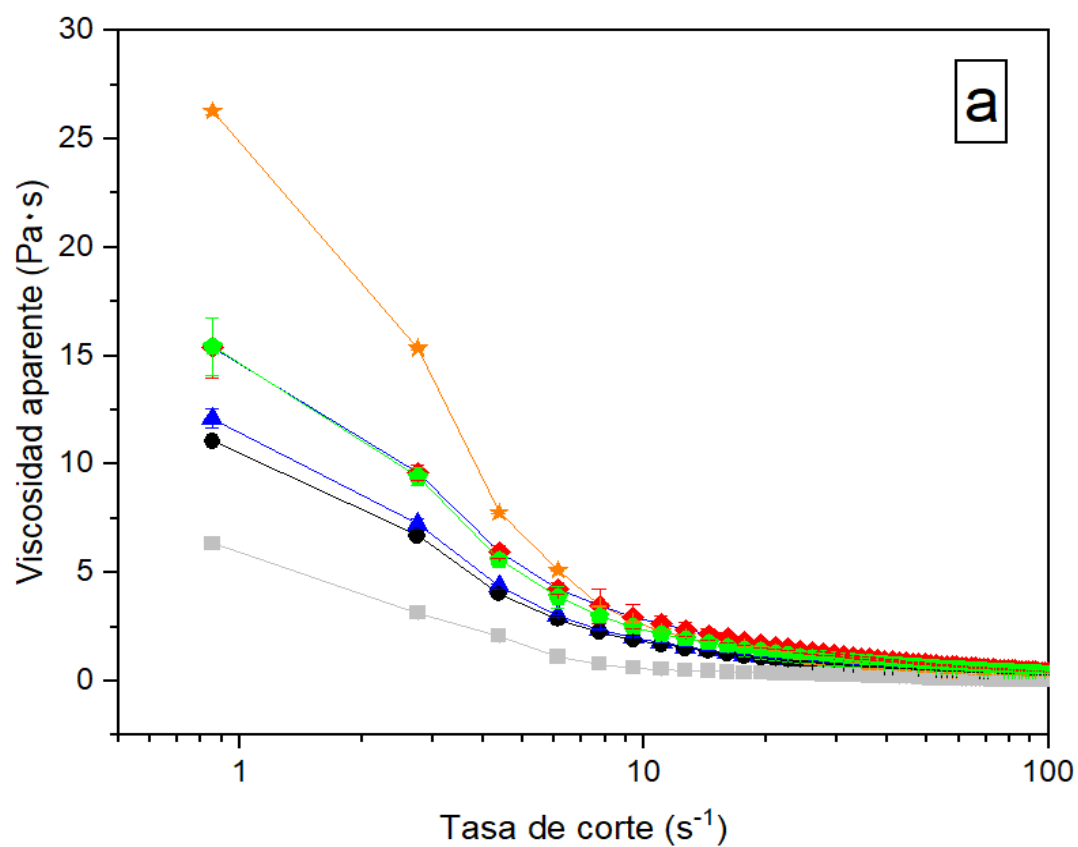


Figura 7. Variación de la viscosidad aparente como función de la tasa de corte y tiempo de almacenamiento: (a) día 1 y (b) día 14. CG (●), BG (■), HP0.1 (◆), HP0.3 (★), HC0.1 (▲) y HC0.3 (◆).

El índice de consistencia (n) durante el día 1 osciló entre 0.89 a 0.38 y 0.81 a 0.46 en el día 14, confirmando que los yogures tuvieron un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico. Los valores en el índice K aumentaron proporcionalmente al aumento de HC y HP los cuales ayudaron a compensar las fuerzas de corte y dificultar el adelgazamiento, mostrando una tendencia similar a la de la viscosidad a una velocidad de corte de 50 s^{-1} ; sin embargo, la fortificación con HP difirió estadísticamente ($p < 0.05$) de HC al obtener los valores más altos en viscosidad; n y K , posiblemente causado por la composición química proximal al aumentar el contenido de sólidos totales y a las propiedades funcionales presentes en HC, las cuales redujeron el movimiento de las moléculas del agua y promovieron su atrapamiento dentro del gel favoreciendo el aumento de la viscosidad respecto a HC.

Cambios en la estructura del yogur como la obtenida en esta investigación ya han sido informados anteriormente por investigadores como Du et al. (2021) quienes atribuyeron el aumento de la viscosidad de un yogur batido fortificado con harina de mora (1, 2 y 3 % p/p) a la cantidad, composición y la forma de dispersión de las partículas de harina a través del gel y el grado de hidratación e hinchamiento. Por otro lado, Alemán et al. (2023) informaron que el aumento en la viscosidad aparente de los yogures fortificados es provocado por el aumento en el contenido de sólidos totales, especialmente por alimentos con altos contenidos de proteína que al incrementar la cantidad de enlaces de reticulación entre las micelas de caseína y los grupos hidroxilo de las proteínas añadidas aumentan la capacidad del gel para retener agua y en consecuencia aumentar su viscosidad aparente.

4.4.5. Microestructura de los yogures

El análisis microestructural de un alimento es usado para obtener información cualitativa de su estado físico y necesario para observar la disposición espacial de algunos compuestos identificables y sus interacciones en una escala inferior a $100 \text{ }\mu\text{m}$ (Zhao et al., 2020). Las micrografías obtenidas por el barrido de electrones (SEM) mostró diferencias marcadas respecto a los yogures fortificados y controles. En el yogur control CG mostrado en la Figura 8 (A1) y Figura 9 (A1) se observó una red tridimensional de proteína compacta y

homogénea compuesta por agregados y cadenas de micelas de caseína unidas, cuya forma globular aún es discernible, mientras que en la Figura 8 (A2) y Figura 9 (A2) fue posible observar los espacios vacíos que contenían suero y que estaban intercalados con la red tridimensional de proteína, en donde fue posible distinguir a BAL responsables de la fermentación (Zhao et al., 2020; Bakirci et al., 2017; Crispín-Isidro et al., 2015; Sandoval-Castilla et al., 2004). En la Figura 8 (B1) y Figura 9 (B1) se observó una red proteica de BG la cual es visiblemente menos densa y rodeada por un gran número de poros de suero, de igual forma en la Figura 8 (B2) y Figura 9 (B2) se muestra una red más abierta respecto a CG, como consecuencia de agregados de micelas de caseína más pequeños, debido a un menor número de glóbulos de grasa los cuales actúan como agentes proteicos de enlace (Zhao et al., 2020; Espírito-Santo et al., 2013; Sandoval-Castilla et al., 2004).

Al adicionar HC y HP, la red del gel se modificó debido a características proximales y funcionales de las harinas que interactuaron con las proteínas presentes en la leche, contribuyendo a la estructuración de la red de caseína (Gilbert y Turgeon, 2021).

En comparación con las micrografías de los controles, se hizo evidente que la fortificación del yogur con HC y HP formó una red más cohesiva y con poros más pequeños al actuar como agentes estructurantes del agua, creando una red de caseína más densa, (Figura 8 C1 y D1) donde se puede observar el yogur fortificado con HP con poros más pequeños y mayor densidad en la red de proteína respecto a los yogures con HC (Figura 9 C1 y D1). Los cambios en la estructura del gel modificaron los microgeles que conforman la estructura del yogur, debido a que el comportamiento reológico de los yogures batidos está en función del tamaño y forma del microgel. Los yogures fortificados con HP y HC aumentaron su viscosidad respecto con los controles a causa del aumento en el tamaño, forma y entrelazamiento de los microgeles dentro de la red proteica que conforma el gel (Gilbert y Turgeon, 2021).

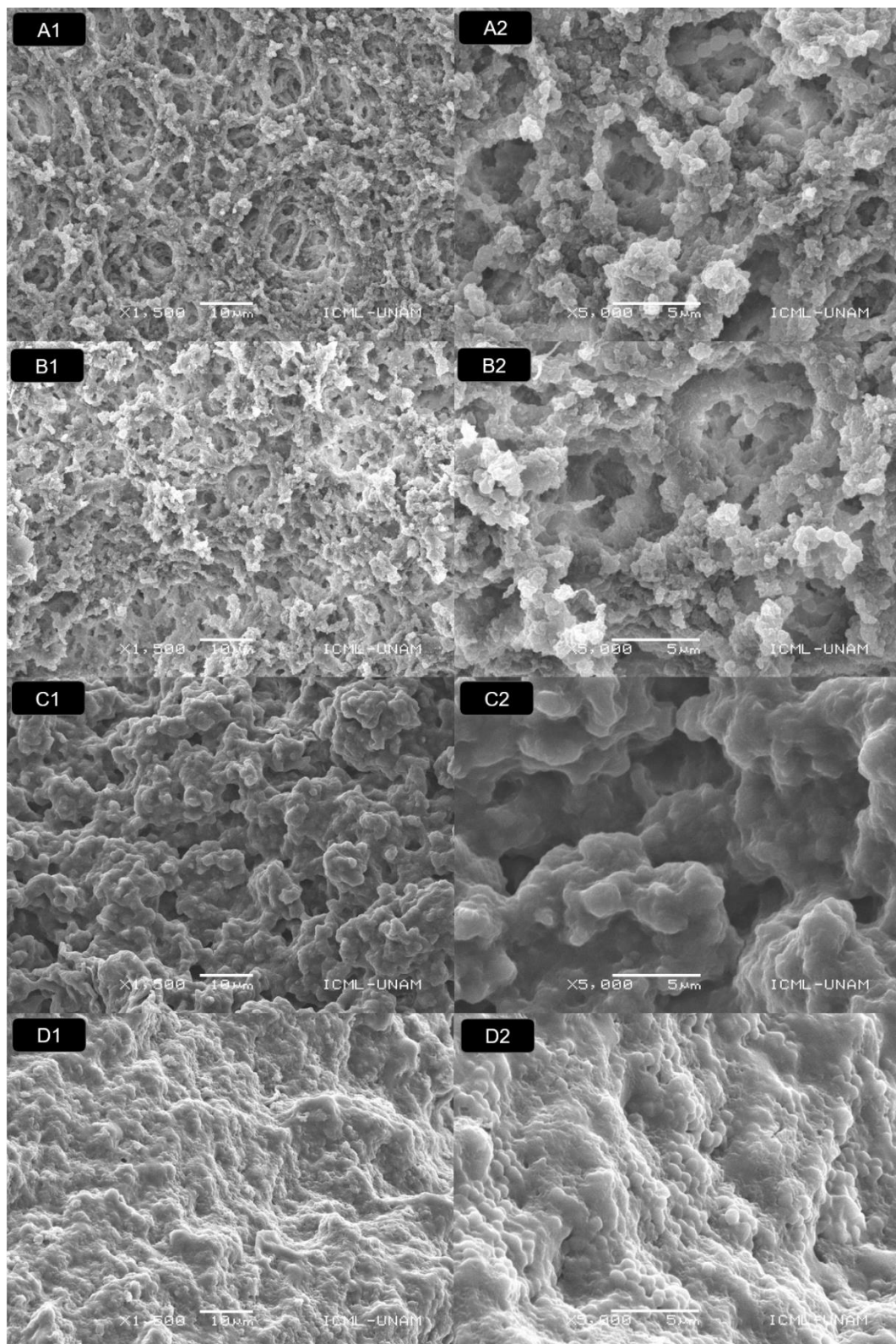


Figura 8. Micrografías SEM de yogures control y fortificados. Yogur completo en grasa (A), Yogur bajo en grasa (B), Yogur con 0.1 % de HP (C) y Yogur con 0.3 % de HP (D). Amplitud: 1,500× (1) y 5,000× (2).

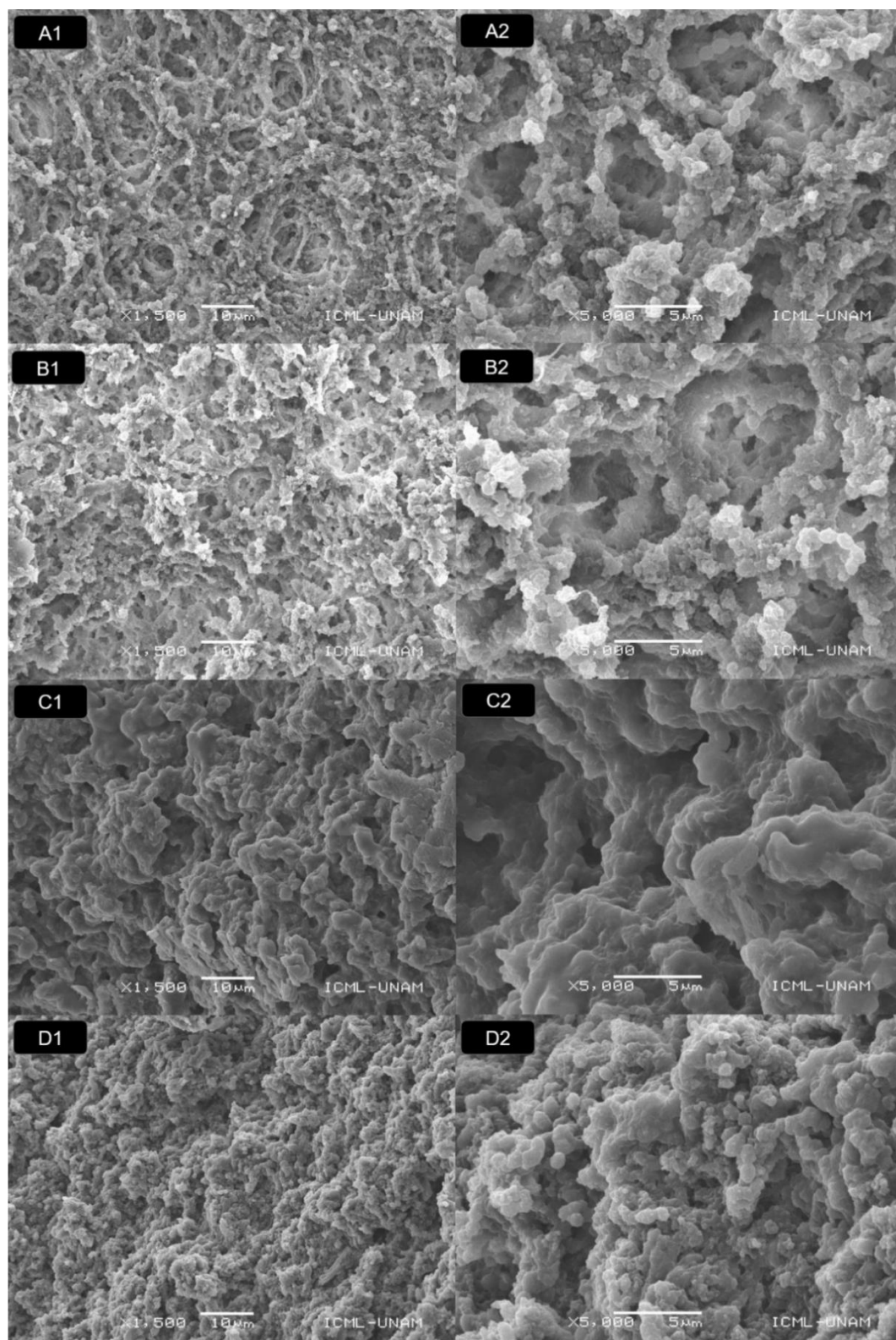


Figura 9. Micrografías SEM de yogures control y fortificados. Yogur completo en grasa (A), Yogur bajo en grasa (B), Yogur con 0.1 % de HC (C) y Yogur con 0.3 % de HC (D). Amplitud: 1,500× (1) y 5,000× (2).

El cambio en la morfología del gel puede estar relacionado con la diferencia en el contenido proximal de las harinas, debido a que, tanto los carbohidratos como las proteínas añadidas pueden influir en la estructura del yogur (Gilbert y Turgeon, 2021). Posiblemente el aumento en el contenido de proteína de HP incrementó las interacciones electrostáticas con la caseína, dando como resultado un gel con una estructura más densa y con poros más pequeños como se muestra en la Figura 8 (D2) a diferencia de la Figura 9 (D2), donde se observa una mayor cantidad de poros y un menor número de entrecruzamientos dentro de la matriz proteica, estas características estructurales de los geles se reflejaron en sus propiedades reológicas debido a que los tratamientos fortificados con HP obtuvieron valores mayores de viscosidad y G' respecto a los tratamientos fortificados con HC (Divyang et al., 2016). El tamaño de poro, la densidad de reticulación de la red y su heterogeneidad proteica son las principales características estructurales para describir a los geles que conforman el yogur y son usados para comprender las propiedades texturales y sensoriales. En la presente investigación se observó que los cambios estructurales dentro del gel estuvieron en función de la concentración de harina (Gilbert y Turgeon, 2021; Zhao et al., 2020). Tendencias similares han sido observadas previamente por Wang et al. (2019), quienes, tras añadir 0.5 % p/p de harina de orujo de manzana en yogur, observaron una estructura uniforme de proteína con poros definidos y estructurados.

4.4.6. Análisis Sensorial

En años recientes se han empleado metodologías que relacionan las propiedades estructurales con las propiedades sensoriales durante su consumo como la caracterización viscoelástica y curvas de flujo; sin embargo, ambos ensayos todavía no son suficientes para predecir y medir dichas propiedades, debido a lo anterior los análisis sensoriales siguen siendo la mejor manera de predecir el éxito comercial al medir la respuesta hedónica del consumidor (Benmeziane et al., 2021; Gilbert y Turgeon, 2021).

El análisis sensorial para la evaluación de yogures fortificados con HC y HP se realizó por un panel no entrenado conformado por 80 panelistas de entre 15 y 20 años y consumidores frecuentes de yogur. Al finalizar el estudio se obtuvo que

los atributos de granulosis y apariencia no tuvieron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre los controles y los yogures fortificados con HC y HP, ambos parámetros son relevantes debido a que el atributo de apariencia es la cualidad más importante para los consumidores al momento de aprobar o rechazar el yogur (Ul Haq et al., 2019), mientras que el atributo de granulosis se ha ligado con la apreciación en boca y vista en donde el tamaño del microgel está fuertemente relacionado (Gilbert y Turgeon, 2021). Los resultados de la evaluación sensorial de los yogures fortificados con HC y HP se presentan en el Cuadro 23.

Otro atributo importante en la evaluación sensorial de un yogur es la cremosidad, Gilbert y Turgeon (2021) han relacionado esta percepción sensorial compleja con propiedades físicas como la viscosidad y sinéresis, debido a que el aumento en la viscosidad del yogur se asocia con una textura más firme al igual que un yogur con bajo porcentaje de sinéresis, resultando en una mejor sensación en la boca para los consumidores. En esta investigación los tratamientos HP_{0.1} y HP_{0.3} resultaron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) respecto a los tratamientos HC_{0.1} y HC_{0.3} al obtener valores más altos de cremosidad, los cuales tienen relación con los valores obtenidos en las propiedades de flujo.

Por otro lado, los yogures fortificados con HP mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) en los atributos de sabor y aceptación global al obtener puntajes más altos respecto a los yogures fortificados con HC y controles, demostrando que los panelistas prefirieron el yogur fortificado con HP.

Cuadro 23. Atributos sensoriales medidos y puntuaciones generales de aceptabilidad de las variaciones de yogur fortificado con HC y HP.

Tr.	Color	Aroma	Sabor	Apariencia	Cremosidad	Gr.	Acidez	Resabio	Aceptación global
CG	3.86 ± 0.72 ^A	3.77 ± 1.07 ^A	3.67 ± 1.15 ^B	3.72 ± 0.87 ^A	3.64 ± 1.10 ^{B,C}	3.60 ± 1.10 ^A	3.52 ± 1.07 ^{B,C}	3.54 ± 1.02 ^{A,B}	3.71 ± 0.93 ^B
BG	3.72 ± 0.82 ^A	3.51 ± 1.02 ^A	3.17 ± 1.15 ^B	3.77 ± 1.00 ^A	3.41 ± 1.05 ^C	3.47 ± 1.21 ^A	3.40 ± 1.02 ^C	3.16 ± 1.22 ^B	3.34 ± 0.94 ^B
HP _{0.1}	3.86 ± 0.98 ^A	3.88 ± 0.90 ^A	4.33 ± 0.88 ^A	3.83 ± 0.93 ^A	4.18 ± 0.83 ^A	3.87 ± 1.01 ^A	3.95 ± 0.97 ^A	3.96 ± 1.01 ^A	4.30 ± 0.78 ^A
HP _{0.3}	3.57 ± 1.06 ^{A,B}	3.69 ± 1.00 ^A	4.20 ± 0.85 ^A	3.67 ± 0.94 ^A	4.00 ± 0.98 ^{A,B}	3.77 ± 1.13 ^A	3.92 ± 0.89 ^{A,B}	3.82 ± 0.96 ^A	4.17 ± 0.76 ^A
HC _{0.1}	3.63 ± 0.91 ^{AB}	3.64 ± 0.93 ^A	3.17 ± 1.03 ^B	3.78 ± 0.94 ^A	3.58 ± 0.99 ^{B,C}	3.46 ± 1.00 ^A	3.59 ± 1.18 ^{A,B,C}	3.27 ± 1.05 ^B	3.57 ± 0.83 ^B
HC _{0.3}	3.30 ± 1.29 ^B	3.54 ± 1.06 ^A	3.46 ± 1.22 ^B	3.40 ± 1.26 ^A	3.63 ± 1.09 ^{B,C}	3.59 ± 1.04 ^A	3.13 ± 1.18 ^C	3.52 ± 1.18 ^{A,B}	3.69 ± 1.01 ^B

Tr.: Tratamiento, Gr.: Granularidad. CG: yogur completo en grasa, BG: yogur bajo en grasa, HC_{0.1}, HC_{0.3}, HP_{0.1} y HP_{0.3}; Yogur sustituido 0.1 y 0.3 % p/p de HC y HP, respectivamente. Los resultados se expresan como media ± desviación estándar. Diferentes superíndices dentro de una columna indica que los valores medios son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

4.5. Conclusiones

Las harinas HC y HP funcionaron como ingredientes funcionales al modificar significativamente los yogures evaluados durante el día 15 y conseguir un aumento el porcentaje de acidez de 0.87 ± 0.58 (CG) a 0.98 ± 0.58 (HC_{0.3}), así como un incremento en el contenido fenólico total de 2.82 ± 0.02 (CG) a 5.42 ± 0.01 mg EAG/g (HC_{0.3}), por el contrario se obtuvo una disminución del pH de 4.21 ± 0.01 (CG) a 4.05 ± 0.01 (HC_{0.3}), de igual forma se observó una disminución en el porcentaje de sinéresis de 20.17 ± 0.06 (BG) a 8.13 ± 0.06 (HP_{0.3}), características deseadas en la fabricación de yogures.

HP_{0.3} formó una estructura más uniforme y con poros más pequeños en comparación a la estructura abierta y con una gran cantidad de poros observada en BG. El cambio en la microestructura del gel influyó en las propiedades mecánicas del yogur al aumentar el índice de consistencia K de 1.54 (BG) a 2.91 Pa·sⁿ (HP_{0.3}) durante el día 14.

Se puede concluir que la fortificación con HC y HP mejora la aceptabilidad del yogur, haciendo posible su uso como estabilizante alimentario y mostrando una alternativa para el aprovechamiento de los subproductos producidos por la industrialización del aguacate.

4.6. Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo económico brindado durante estos dos años de estudio, al Departamento de Preparatoria Agrícola y al Departamento de Ingeniería Agroindustrial por facilitar los materiales requeridos en esta investigación y a la MC. Laura Elena Gómez Lizárraga del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México por su invaluable ayuda en el escaneo electrónico para el análisis microscópico de las muestras de yogur.

4.7. Literatura citada

- Abdeldaiem, A.M., Ali, A.H., Shah, N., Ayyash, M., & Mousa, A.H. (2023). Physicochemical analysis, rheological properties and sensory evaluation of yogurt drink supplemented with roasted barley powder. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food Science and Technology]*, 173 (114319), 114319. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114319>
- Acquavia, MA, Benítez, JJ, Bianco, G., Crescenzi, MA, Hierrezuelo, J., Grifé-Ruiz, M., Romero, D., Guzmán-Puyol, S., & Heredia-Guerrero, J.A. (2023). Incorporation of bioactive compounds from avocado by-products into ethylcellulose-reinforced paper for food packaging applications. *Food Chemistry*, 429 (136906), 136906. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136906>
- Ahmad, I., Hao, M., Li, Y., Zhang, J., Ding, Y., & Lyu, F. (2022). Fortification of yogurt with bioactive functional ingredients and foods and associated challenges: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 129, 558–580. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.003>
- Ahmed, M., Ali, A., Sarfraz, A., Qin, H., & Hu, B. (2022). Effect of Freeze-Drying on Apple Pomace and Pomegranate Peel Powders Used as a Source of Bioactive Ingredients for the Development of Functional Yogurt. *Journal of Food Quality*, 2022, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/3327401>
- Alemán, R.S., Cedillos, R., Page, R., Olson, D., & Aryana, K. (2023). Physicochemical, microbiological and sensory characteristics of yogurt affected by various ingredients. *Journal of Dairy Science*, 106(6), 3868–3883. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22622>
- Anuyahong, T., Chusak, C., & Adisakwattana, S. (2020). Incorporation of anthocyanin-rich riceberry rice in yogurts: Effect on physicochemical properties, antioxidant activity and in vitro gastrointestinal digestion. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 129, 109571. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109571>
- AOAC INTERNATIONAL. (2023). Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL: 3-Volume set (G. W. Latimer Jr, Ed.; 22a ed.). Oxford University Press.
- Arackal, J.J., & Parameshwari, S. (2021). Identification of the antioxidant activity and shelf life assay of chapatis incorporated into avocado fruit pulp. *Materials Today: Minutes*, 45, 2589–2594. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.337>
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E. y Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Bakirci, S., Dagdemir, E., Boran, O.S., & Hayaloglu, A.A. (2017). The effect of

pumpkin fiber on the quality and shelf stability of reduced-fat yogurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 180–187. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13264>

- Basiri, S., Tajbakhsh, S., & Shekarforoush, S. S. (2022). Fortification of whipped yogurt with mucilage-free flaxseed and its physicochemical, microbial, textural and sensory properties. *International Dairy Journal*, 131 (105384), 105384. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105384>
- Benmeziane, F., Raigar, R. K., Ayat, N. E., Aoufi, D., Djermoune-Arkoub, L., & Chala, A. (2021). Lentil (*Lens Culinaris*) flour addition to yogurt: Impact on physicochemical, microbiological and sensory attributes during refrigeration storage and microstructure changes. *LWT*, 140, 110793. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110793>
- Bista, A., McCarthy, N. A., O'Donnell, C. P., & O'Shea, N. (2021). Key parameters and strategies to control milk concentrate viscosity in milk powder manufacture. *International Dairy Journal*, 121, 105120. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105120>
- Blanco, U. (16 de Octubre de 2018). Aguacate y tortillas, entre los alimentos que más desperdician los mexicanos. *El Financiero*. Recuperado de <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/aguacate-y-tortillas-entre-los-10-alimentos-que-mas-se-desperdician-en-mexico/>
- Bressani, R., Rodas, B. y Ruiz, A. S. (2009). La composición química, capacidad antioxidativa y valor nutritivo de la semilla de variedades de aguacate. Tegucigalpa (Guatemala): Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología-FONACYT, Universidad del Valle de Guatemala-UVG.
- Chen, B., Zhao, X., Cai, Y., Jing, X., Zhao, M., Zhao, Q., & Van der Meeren, P. (2023). Incorporation of insoluble soybean fiber derived from modified okara in curd-type yogurt: structural architecture, rheological properties and moisture stability. *Food Hydrocolloids*, 137 (108413), 108413. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108413>
- Costa, M. P., Frasao, B. S., Silva, A. C. O., Freitas, M. Q., Franco, R. M., & Conte-Junior, C. A. (2015). Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) pulp, probiotic, and prebiotic: Influence on color, apparent viscosity, and texture of goat milk yogurts. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 5995–6003. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9738>
- Crispín-Isidro, G., Lobato-Calleros, C., Espinosa-Andrews, H., Álvarez-Ramírez, J., & Vernon-Carter, E. (2015). Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt. *LWT*, 62(1), 438-444. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.042>
- Daiuto, É. R., Tremocoldi, M. A., Alencar, S. M. de, Vieites, R. L., & Minarelli, P. H. (2014). Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate “Hass”. *Revista brasileira de fruticultura*, 36(2), 417–424.

<https://doi.org/10.1590/0100-2945-102/13>.

- Divyang, M., Prajapati Shrigod, N., Prajapati, E., & Pandit, P. (2016). Textural and rheological properties of yogurt: a review. *Adv. Life Sci*, 5, 5238-5254.
- Dong, R., Liao, W., Xie, J., Chen, Y., Peng, G., Xie, J., Sun, N., Liu, S., Yu, C., & Yu, Q. (2022). Enrichment of yogurt with carrot soluble dietary fiber prepared by three physical modified treatments: Microstructure, rheology and storage stability. *Innovative Food Science & Emerging Technologies: IFSET: The Official Scientific Journal of the European Federation of Food Science and Technology*, 75(102901), 102901. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102901>
- Du, H., Wang, X., Yang, H., Zhu, F., Cheng, J., Peng, X., Lin, Y., & Liu, X. (2023). Effects of the addition of mulberry pomace polysaccharides prior to fermentation on the quality characteristics of yogurt. *Food Control*, 153 (109900), 109900. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109900>
- El-Said, MM, Haggag, HF, Fakhr El-Din, HM, Gad, A.S. & Farahat, A.M. (2014). Antioxidant activities and physical properties of whipped yogurt fortified with pomegranate peel extracts. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(2), 207–212. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.11.007>
- Estrada, J.D., Boeneke, C., Bechtel, P., & Sathivel, S. (2011). Preparation of a strawberry yogurt fortified with marine fish oil. *Journal of Dairy Science*, 94(12), 5760–5769. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4226>
- Ferreira, SM, y Santos, L. (2023). Incorporation of phenolic extracts from different by-products in yogurts to create fortified and sustainable foods. *Food Bioscience*, 51 (102293), 102293. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102293>
- García-Pérez, F. J., Lario, Y., Fernández-López, J., Sayas, E., Pérez-Alvarez, J. A., & Sendra, E. (2005). Effect of orange fiber addition on yogurt color during fermentation and cold storage. *Color Research and Application*, 30(6), 457–463. <https://doi.org/10.1002/col.20158>
- Gilbert, A., y Turgeon, SL (2021). Study of the microstructure of whipped yogurt and its correlation with physical properties: a review. *Food Hydrocolloids*, 121 (106970), 106970. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106970>
- Hamid, Thakur, N. S., Sharma, R., & Thakur, A. (2022). Optimization of lyophilized microencapsulated phenolic extract concentration for enrichment of yoghurt and effect on chemical parameters, bioactive compounds, antioxidant activity and sensory quality under storage. *Suid-Afrikaanse Tydskrif Vir Plantkunde [South African Journal of Botany]*, 151, 413–422. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.04.015>
- Hernández-Rodríguez, L., Lobato-Calleros, C., Ramirez-Santiago, C., Rodríguez-Huezo, ME, & Meraz, M. (2016). Microestructura y reología del yogur adicionado con coacervado de proteína L plantarum-polisacárido y stevia en sustitución de leche feta y sacarosa. *Revista mexicana de ingeniería química*,

- Hole, A.S., Rud, I., Grimmer, S., Sigl, S., Narvhus, J., & Sahlstrøm, S. (2012). Improved bioavailability of dietary phenolic acids in whole barley and oats after fermentation with probiotics *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus johnsonii* and *Lactobacillus reuteri*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(25), 6369–6375. <https://doi.org/10.1021/jf300410h>
- Huang, T., Tu, Z., Shangguan, X., Wang, H., Zhang, L., & Bansal, N. (2021). Characteristics of fish gelatin-anionic polysaccharide complexes and their applications in yoghurt: Rheology and tribology. *Food Chemistry*, 343(128413), 128413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128413>
- King-Loeza, Y., Ciprián-Macías, D. A., Cardador-Martínez, A., Martín-del-Campo, S. T., Castañeda-Saucedo, M. C., & Ramírez-Anaya, J. del P. (2023). Functional composition of avocado (*Persea americana* Mill. Var Hass) pulp, extra virgin oil, and residues is affected by fruit commercial classification. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12(100573), 100573. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100573>
- Li, K., Duan, Z., Zhang, J., & Cui, H. (2023). Growth kinetics, metabolomics changes, and antioxidant activity of probiotics in fermented highland barley-based yogurt. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 173(114239), 114239. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114239>
- Licona-Aguilar, Á. I., Lois-Correa, J. A., Torres-Huerta, A. M., Domínguez-Crespo, M. A., Urdapilleta-Inchaurregui, V., Rodríguez-Salazar, A. E., & Brachetti-Sibaja, S. B. (2023). Production of dietary cookies based on wheat-sugarcane bagasse: Determination of textural, proximal, sensory, physical and microbial parameters. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 184(115061), 115061. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115061>
- López O., J. C., Hernández C., L. M., Qi, M., & McAllister, T. (2015). Evaluación de una esterasa de ácido ferúlico (Fae1A) aislada del hongo del rumen *Anaeromyces mucronatus* sobre la degradación de la pared celular del heno de alfalfa y paja de trigo: Ensayo In vitro. *Nova scientia*, 7(14), 45–56. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052015000200045&script=sci_abstract
- Meybodi, N. M., Mortazavian, A. M., Arab, M., & Nematollahi, A. (2020). Probiotic viability in yoghurt: A review of influential factors. *International Dairy Journal*, 109(104793), 104793. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104793>
- Nazari, A., Zarringhalami, S., & Asghari, B. (2023). Influence of germinated black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds extract on the physicochemical, antioxidant, antidiabetic, and sensory properties of yogurt. *Food Bioscience*, 53(102437), 102437. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102437>
- Nyakang'i, C. O., Ebere, R., Marete, E., & Arimi, J. M. (2023). Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels)

- functionality and utilization in food products. *Applied Food Research*, 3(1), 100275. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>
- Nyanzi, R., Jooste, P. J., & Buys, E. M. (2021). Invited review: Probiotic yogurt quality criteria, regulatory framework, clinical evidence, and analytical aspects. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 1–19. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19116>
- Ortega Quintana, F. A., Galván, E. S., Arrieta Rivero, R., & Torres Gallo, R. (2015). Effect of temperature and concentration on the rheological properties of mango pulp of the Tommy Atkins variety. *Journal of Ion Research Optimization and New Processes in Engineering*, 28(2), 79–92. <https://doi.org/10.18273/revion.v28n2-2015007>
- Pan, L.-H., Liu, F., Luo, S.-Z., & Luo, J.-P. (2019). Pomegranate juice powder as sugar replacer enhanced quality and function of set yogurts: Structure, rheological property, antioxidant activity and in vitro bioaccessibility. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 115(108479), 108479. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108479>
- Ribeiro, T. B., Bonifácio-Lopes, T., Morais, P., Miranda, A., Nunes, J., Vicente, A. A., & Pintado, M. (2021). Incorporation of olive pomace ingredients into yoghurts as a source of fibre and hydroxytyrosol: Antioxidant activity and stability throughout gastrointestinal digestion. *Journal of Food Engineering*, 297(110476), 110476. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110476>
- Rodríguez-Sánchez, D., Silva-Platas, C., Rojo, R.P., García, N., Cisneros-Zevallos, L., García-Rivas, G., & Hernández-Brenes, C. (2013). Activity-guided identification of acetogenins as novel lipophilic antioxidants present in avocado pulp (*Persea americana*). *Journal of Chromatography. B, Analytical Technologies in the Biological and Biomedical Sciences*, 942–943, 37–45.
- Sabo, E., Naveh, E., Werman, M. J., & Neeman, I. (2002). Research communication: Defatted avocado pulp reduces body weight and total hepatic fat but increases plasma cholesterol in male rats fed diets with cholesterol. *The Journal of Nutrition*, 132(7), 2015–2018. <https://doi.org/10.1093/jn/132.7.2015>
- Sahingil, D., y Hayaloglu, A. A. (2022). Enrichment of antioxidant activity, phenolic compounds, volatile composition and sensory properties of yogurt with rosehip (*Rosa canina* L.) fortification. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28(100514), 100514. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100514>
- Salazar-López, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E., & González-Aguilar, G. A. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138(109774), 109774. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>
- Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., & Vernon-Carter, E. J. (2004). Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers.

International Dairy Journal, 14(2), 151–159. [https://doi.org/10.1016/s0958-6946\(03\)00166-3](https://doi.org/10.1016/s0958-6946(03)00166-3)

- Ścibisz, I., Ziarno, M., & Mitek, M. (2019). Color stability of fruit yogurt during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1997–2009. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03668-y>
- Shori, A. B. (2020). Proteolytic activity, antioxidant, and α -Amylase inhibitory activity of yogurt enriched with coriander and cumin seeds. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 133(109912), 109912. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109912>
- Snoeren, THM, AJ, D., & HJ, K. (1982). The viscosity of skimmed milk concentrates.
- Suwannasang, S., Zhong, Q., Thumthanaruk, B., Vatanyoopaisarn, S., Uttapap, D., Puttanlek, C., & Rungsardthong, V. (2022). Physicochemical properties of yogurt fortified with microencapsulated Sacha Inchi oil. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 161(113375), 113375. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113375>
- Ul Haq, F., Sameen, A., U Zaman, Q., Sajid Mushtaq, B., Bilal Hussain, M., Javed, A., Plygun, S., Korneeva, O., & Ali Shariati, M. (2019). Development and evaluation of yogurt supplemented with lentil flour. *The journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 8(4), 1005–1009. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019.8.4.1005-1009>
- Vénica, C. I., Wolf, I. V., Spotti, M. J., Capra, M. L., Mercanti, D. J., & Perotti, M. C. (2023). Impact of protein-providing milk ingredients on volatile compounds, microstructure, microbiology and physicochemical characteristics of yogurts. *Food Bioscience*, 53(102588), 102588. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102588>
- Vieira, E. D. F., Styles, D., Sousa, S., Santos, C., Gil, A. M., Gomes, A. M., & Vasconcelos, M. W. (2022). Nutritional, rheological, sensory characteristics and environmental impact of a yogurt-like dairy drink for children enriched with lupin flour. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 30(100617), 100617. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100617>
- Wang, J., Wang, A., Zang, X., Tan, L., Xu, B., Chen, H., Jin, Z., & Ma, W. (2019). Physicochemical, functional and emulsion properties of edible protein from avocado (*Persea Americana* Mill.) oil processing by-products. *Food Chemistry*, 288, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.098>
- Wang, W., Bostic, T.R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122(4), 1193–1198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>
- Wang, X., Kristo, E., & LaPointe, G. (2020). Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. *Food Hydrocolloids*, 100, 105453. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105453>

- Zahid, H. F., Ranadheera, C. S., Fang, Z., & Ajlouni, S. (2022). Functional and healthy yogurts fortified with probiotics and fruit peel powders. *Fermentation*, 8(9), 469. <https://doi.org/10.3390/fermentation80904694>
- Zhang, Y.-J., Gan, R.-Y., Li, S., Zhou, Y., Li, A.-N., Xu, D.-P., & Li, H.-B. (2015). Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. *Molecules* (Basel, Switzerland), 20(12), 21138–21156. <https://doi.org/10.3390/molecules201219753>
- Zhao, Y., Zhang, J., Wu, F., Ai, L., Wang, S., Dong, Y., & Xiao, X. (2020). Evaluating the effect of Electromagnetic Stir-Frying Barley Flour on yoghurt quality. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2020/3040564>